

# IOT-YMPÄRISTÖN MONISTAMINEN MIKRORAKENNUKSISSA

CoolBox-hanke

Vallinaho Laura

Opinnäytetyö

Tieto- ja viestintäteknikka  
Insinööri (AMK)

2023

Tieto- ja viestintäteknikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Laura Vallinaho	<b>Vuosi</b>	2023
<b>Ohjaaja</b>	Ari Karjalainen		
<b>Toimeksiantaja</b>	CoolBox-hanke		
<b>Työn nimi</b>	IoT-ympäristön monistaminen mikrorakennuksissa		
<b>Sivumäärä</b>	32 + 1		

---

Opinnäytetyön aiheena on IoT-ympäristön monistaminen mikrorakennuksissa. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten mikrorakennuksen (CoolBox) IoT-ympäristö voitaisiin monistaa modulaariseksi, helposti käyttöön otettavaksi ratkaisuksi muissa mikrorakennuksissa tai vastaavissa älykkään rakentamisen ympäristöissä.

Työssä avattiin älykkäiden järjestelmien käsitteitä ja kotiautomaatiossa käytettävien suosituimpien tekniikoiden protokollia ja menetelmiä. Opinnäytetyössä tehtiin selvitys CoolBox-mikrorakennuksen olemassa olevista IoT- ja tekniikkaratkaisuksista ja esiteltiin järjestelmän IoT-arkkitehtuuri.

Työssä pohdittiin, onko olemassa oleva IoT-ratkaisu monistettavissa ja miten sitä pitäisi muokata, jotta monistaminen olisi sekä mahdollista että helppoa. CoolBox-ympäristö teknillisine ratkaisuneen muistuttaa suosittuja älykkäitä kotiautomaatiojärjestelmiä, joten kotiautomaation käsitettä ja esimerkkiratkaisuja käytiin läpi. Modulaarisuus käsitteenä ja käytännössä oli merkittävänä teemana työssä, joten sen historiaa ja merkitystä älykkäissä kodeissa avattiin.

Tutkimusaineistoina toimivat aiheeseen liittyvät akateemiset julkaisut sekä Cool-Box-projektin monialaisen asiantuntijajoukon keräämä dokumentaatio.

Avainsanat

esineiden internet, mikrorakennus, älykäs rakentaminen, modulaarisuus

Study Programme in Information  
and communication technology  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Laura Vallinaho	<b>Year</b>	2023
<b>Supervisor</b>	Ari Karjalainen		
<b>Commissioned by</b>	CoolBox		
<b>Title</b>	Duplicating an IoT-environment in Micro Buildings		
<b>Number of pages</b>	32 + 1		

---

The aim of this thesis study was to find out how the IoT environment of a micro building (CoolBox) could be duplicated into modular, easily accessible solutions in other micro-buildings or similar smart building environments.

Academic publications related to the topic and documentation collected by the interdisciplinary group of experts of the CoolBox project served as research material. It was considered whether the existing IoT solution can be duplicated, and how it should be modified so that duplication would be possible and easy. The CoolBox environment with its technical solutions resembles popular smart home automation systems, so the concept of home automation and example solutions were reviewed. Modularity as a concept and in practice is a significant theme in the thesis, so its history and importance in smart homes were detailed.

This thesis opens the concepts of intelligent systems, protocols and methods of the most popular technologies used in home automation. It comprises a comprehensive report of the existing IoT and technical solutions of the CoolBox micro-building and the IoT architecture.

Keywords

Internet of things, micro building, smart building, modularity

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	7
2 ESINEIDEN INTERNET JA ÄLYKÄS RAKENTAMINEN .....	8
2.1 Esineiden internet .....	8
2.2 Älykäs rakentaminen.....	9
2.3 Mikrorakentaminen .....	10
2.4 Teollisuus 4.0.....	11
3 ÄLYKKÄÄN RAKENTAMISEN TEKNIKKAA .....	12
3.1 Kotiautomaation elementtejä .....	12
3.1.1 Z-Wave.....	12
3.1.2 Zigbee .....	13
3.1.3 Wi-Fi.....	13
3.1.4 Avoimen lähdekoodin laitteisto .....	14
3.2 Kotiautomaatiojärjestelmiä.....	14
4 MIKRORAKENNUS IOT-MAAILMASSA.....	16
4.1 CoolBox .....	16
4.1.1 CoolBox-mikrorakennuksen IoT-arkkitehtuuri .....	17
4.1.2 Laitteisto ja protokollat.....	17
4.1.3 Node-RED-ohjelmisto.....	20
4.2 Off-grid-tekniikkaboksi .....	21
4.3 Digitaalinen kaksonen.....	22
5 IOT-YMPÄRISTÖN MONISTAMINEN .....	23
5.1 Modulaarisuus ja modulaarinen kotiautomaatiojärjestelmä.....	23
5.2 CoolBoxin ratkaisujen monistaminen .....	24
6 POHDINTA .....	27
LÄHTEET.....	29
LIITE .....	33

## ALKUSANAT

Kiitokset ohjaajalleni Arille, joka neuvoi, antoi käytännön ohjeita ja auttoi oikeaan suuntaan opinnäytetyön kanssa. Suuret kiitokset myös rakennuslabran Villelle, Juhalle ja Karille, heidän osaamisensa ja tietotaitonsa avulla opinnäytetyön tekeminen oli helpompaa.

Kiitos myös kaikille opettajilleni ja kanssaopiskelijoilleni viimeisestä neljästä vuodesta!

## KÄYTETYT LYHENTEET

API	Application Programming Interface, sovellusten välinen rajapinta
CPS	Cyber-Physical System, kyberfyysinen järjestelmä
IoT	Internet of Things, esineiden internet
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport, viestintäprotokolla

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Lapin ammattikorkeakoulun TEQUn yksikön CoolBox-hanke. CoolBox-hankkeen tavoitteena on lappilaisten yritysten aktiivointi vähähiilisen ja energiatehokkaan rakentamisen alalla. Pidemmän tähtäimen tavoitteena on yritysten viennin edistäminen. Hankkeen tuloksena syntyy energiatehokkaan mikrorakennuksen konsepteja ja prototyyppejä 360-näkökulmista. Projektissa luotavia prototyyppejä ovat muun muassa vähähiilinen ja energiatehokas mikrorakennus ja sen digitaalinen kaksonen, off-grid-tekniikkaboksi, AR-prototyyppi ja tekoälyn ja robotiikan prototyyppi. (TEQU 2023.)

Viime vuosikymmenien aikana on tutkittu paljon älykkäitä rakennuksia ja yhteisöjä, sillä rakennukset ovat ihmisen keskeisiä elinympäristöjä. Älykkään rakennuksen käsite sai alkunsa edistyneen teknologian integroinnin lisääntymisestä rakennuksiin ja niiden järjestelmiin. Rakennuksia voidaan ohjata helppokäyttöisyyden, mukavuuden ja kustannus- ja energiatehokkuuden parantamiseksi. (Jia, Komeily, Wang & Srinivasan 2019.)

Opinnäytetyössä tutkitaan CoolBox-mikrorakennuksen IoT-pohjaista kotiautomaatoratkaisua ja pohditaan, kuinka modulaarinen ja kuinka helposti se on monistettavissa uusiin mikrorakennuksiin. Työn tarkoitus on selvittää, miten olemassa olevaa ratkaisua tulisi muuttaa, jotta integrointi uuteen ympäristöön olisi mahdollisimman helppoa. Työssä esille tulevat keskeiset käsitteet, menetelmät ja protokollat selitetään ja niistä annetaan myös esimerkkejä. Työssä ei lähdetä muokkaamaan jo valmiita ratkaisuja, rakenneta uutta järjestelmää tai implementoida lopputulosta uuteen ympäristöön.

Työssä perehdytään kotiautomaatiojärjestelmän käsitteeseen, käyttötapoihin ja menetelmiin. Kotiautomaatiosta on hyötyä niin tavalliselle kuluttajallekin, kuin ympäristölle. Tutkimukset ovat osoittaneet, että kotiautomaation käytöllä asuinrakennuksissa on positiivinen vaikutus energiankulutuksen vähentämiseen. Kotiautomaation avulla suuri osa energiankulutuksesta on mahdollista siirtää yöaikaan. (Louis, Calo, Leiviskä & Pongrácz 2015, 880.) Ilmastonmuutos on ollut pinnalla oleva aihe viimeisten vuosien aikana, joten tapoja sen hillitsemiseen on tärkeää nostaa esiin.

## 2 ESINEIDEN INTERNET JA ÄLYKÄS RAKENTAMINEN

Digitaalisen ja fyysisen maailman yhdistäminen tekee internetiin kytketyistä tuotteista ja palveluista älykkäitä, ja edelleen yhdistyessään ne mahdollistavat eri tasoilla autonomisia ratkaisuja. Perinteisen liiketoiminnan malleja murttamalla yritykset pystyvät luomaan ennennäkemättömiä tuotteita ja palveluja. (Collin & Saarelainen 2016, 18–19.)

Tavalliset kuluttajat hyötyvät älykkäistä järjestelmistä päivittäisten rutiinien helpottumisella ja sujuvammalla arkielämällä. Myös julkiset palvelut toimivat tehokkaammin, kun palvelut on yhdistetty internetiin. Yhteiskunta, yritykset ja kuluttaja ovat näin yhdessä tuottamassa ja hyödyntämässä uusia älykkäitä tuotteita ja palveluita. (Collin & Saarelainen 2016, 19–20.)

### 2.1 Esineiden internet

IoT on laaja käsite, joka kuvaa kaikkien esineiden yhdistämistä internetiin. IoT kokoaa yhteen laajan valikoiman älykkäitä järjestelmiä, laitteita ja antureita. Esimerkiksi älykellot, autot ja älykkäät kahvinkeitinimet voivat olla yhteydessä internetiin. Laitteet jakavat internetin välityksellä tietoa toisilleen ja osaavat toimia joko itsenäisesti tai osana suurempaa järjestelmää. Esineitä voivat olla myös erilaiset fyysistä ympäristöä mittaavat ja tietoa keräävät anturit. (Empirica 2023.)

Esineillä yhteistä on se, että jokaisella on yksilöllinen tunniste. Esineet välittävät itsestään jatkuvasti dataa standardiin viestintäprotokollaan perustuvan verkkoyhteyden kautta. Tyypillisesti tieto siirtyy pilveen, jossa dataa voidaan analysoida. Nykyään internetiin verkottuneita laitteita arvioidaan olevan kymmeniä miljardeja, ja luku kasvaa nopeasti. (Salo 2014, 22; Collin & Saarelainen 2016, 31.)

IoT kuvaa maailmaa, jossa lähes mikä tahansa voidaan yhdistää Internetiin. Esineiden Internet on globaali verkosto, joka mahdollistaa ihmisten, ihmisten ja esineiden ja esineiden välisen kommunikoinnin. (Madakam & Lake 2015, 165.)

IoT käyttää älylaitteita ja internetiä tarjotakseen innovatiivisia ratkaisuja erilaisiin elämän haasteisiin ja ongelmiin. IoT:sta on vähitellen tulossa tärkeä osa elämää,



sillä se on levittäytynyt eri teollisuuden aloihin eri puolilla maailmaa. (Kumar, Tiwari & Zymbler 2019.)

IoT käsitteenä keksittiin vasta vuonna 1999, mutta jo 1980-luvulla IoT-teknologiaa käytettiin Coca Cola -automaatissa Carnegie Mellonin yliopiston kampuksella. Paikalliset ohjelmoijat muodostivat internetyhteyden laitteeseen ja tarkistivat, oliko saatavilla oleva juoma kylmää ennen ostopäätöksen tekemistä. (Foote 2022.)

Tyypillisessä IoT-järjestelmässä on kolme elementtiä: älykäs laite, IoT-sovellus ja graafinen käyttöliittymä. Älylaite, kuten valvontakamera, kerää tietoja ympäristöstään, käyttäjien syötteistä ja käyttötavoista ja jakaa internetin kautta tietoa IoT-sovellukselle. Sovellus on palvelujen ja ohjelmistojen kokoelma, joka yhdistää laitteilta saatua dataa ja käyttää koneoppimista tai tekoälyteknologiaa tiedon analysointiin. IoT-laitetta ja ohjelmistoja hallitaan graafisen käyttöliittymän, esimerkiksi mobiilisovelluksen tai verkkosivuston kautta. (Amazon 2023.)

## 2.2 Älykäs rakentaminen

Älykäs rakennus sisältää reaaliaikaisia, vuorovaikutuksellisia tieto-, talo- ja rakenneteknisiä järjestelmiä. Järjestelmiä ohjataan käyttäjälähtöisellä käyttöliittymällä ja ne tuottavat älyrakennuksen käyttäjälle vaadittuja palveluita ja ominaisuuksia. Älykäs rakennus kuuluu vuorovaikutteiseen rakennettuun ympäristöön ja järjestelmien käyttöönottoon kuuluu eri alojen erityisasiantuntijoiden läsnäolo. (Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2017, 27.)

Kiinteistöautomaation avoimuudella tarkoitetaan sitä, että tekniikka ei ole salaista tai kenenkään omistamaa. Näin järjestelmät eivät sido suunnittelijoita ja urakoitsijoita vain yhden toimittajan toteutukseen vaan laite- ja järjestelmätoimittajat ovat vapaasti valittavissa. Myös järjestelmän integroiminen toisiin ympäristöihin on avoimuuden vuoksi mahdollista. (Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2017, 31.)

Kiinteistöjen älykkäiden järjestelmien toteutuksessa on otettava huomioon erilaisia teknisiä haasteita ja ydinkohtia. Pohdittavaksi nousee esimerkiksi tiedonsiirto järjestelmien välillä; tarvitaanko älykkäämpi tiedonsiirtomenetelmä ohjelmallista

tietoliikenneyhteyttä käyttäen vai toimiiko se yksinkertaisempaan, analogisena signaalina. Tulee ottaa myös huomioon, toimivatko kaikki laitteet samalla tiedonsiirtomenetelmällä vai tarvitaanko useita eri tiedonsiirtomuotoja. Lisäksi ohjauksilaitteiden ja käyttöliittymän sijaintiin ja käyttöön on paneuduttava sekä rakennuksen käyttäjän että omistajan näkökulmasta. (Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2017, 31–32.)

Jos järjestelmää ei ole toteutettu avoimella teknologialla, voi järjestelmien osien keskinäinen toimivuus olla haasteellista, ja nopeasti kehittyvä teknologia vanhentaa järjestelmät nopeasti. Kannattaa myös huomioida, että tietokoneen mahdollisesti särkyvä osa on helposti vaihdettavissa, jotta koko laitteistoa ei tarvitse uusia. (Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2017, 32.)

### 2.3 Mikrorakentaminen

Yksiön kokoisten minitalojen suosio on lisääntynyt Suomessa. Yhtenä syynä tähän on minimalistisen ajattelutavan suosio; ihmiset haluavat karsia turhaa tavaraa. Pienten neliöiden tilaan ei mahdu mitään ylimääräistä, jolloin tavaraa on pakko vähentää. Minitalojen tiivistetty tehokkuus tarjoaa ratkaisun arjen kuormituksen vähentämiseen. Lisäksi lähes puolet suomalaisista asuu yksin, mikä on myös vaikuttava tekijä minitaloinnostukseen. Minitalo on kompakti ja tehokas ja tarjoaa omakotitaloasumisen parhaimmat puolet. Yhä useammat suomalaiset haluavat myös kaupunkikodin rinnalle toisen kodin rauhallisemmalta asuinalueelta. (Erkkilä 2022.)

Nykyään yhä useammat haluavat valita ekologisesti kestävämmän elämäntavan, jossa kuluttamisen ja asumisen vastuullisuuteen kiinnitetään aiempaa enemmän huomiota. Vuonna 2021 avatun Siklaelementit Oy:n moduulirakentamiseen erikoistuneen tehtaan minitalot valmistetaan kotimaisesta puutavarasta. Minitalon neliömäärän vähyyden takia rakennettavat asuineliot, energiankulutus ja hiilijalanjälki jäävät alhaisiksi. Lisäksi ylimääräisten neliöiden lämmittämiseen ei huku energiaa. (Erkkilä 2022.)

Minitalojen hyviä ominaisuuksia ovat myös tilaamisen helppous ja toimitusnopeus. Rakennusluvan myöntämisestä 2–3 kuukauden päästä minitaloon pääsee

jo muuttamaan. Minitalot rakennetaan tehtaassa täysin valmiiksi, joten ne valmistuvat nopealla aikataululla. Valmis talo kuljetetaan tontille, nostetaan perustusten päälle ja kytketään valmiisiin vesi-, viemäri- ja sähköliittymiin. Tehtaassa rakennettu talo tarjoaa myös nopean tuotannon lisäksi kilpailukykyisen hintatason; massaräätälöity talo on kustannustehokas, vaikka minitalo rakennetaan aina asiakkaan valintojen perusteella. (Erkkilä 2022.)

#### 2.4 Teollisuus 4.0

Maailma todisti 2000-luvun alussa neljättä teollista vallankumousta ja yritysmaailman digitaalista muutosta, jota kutsutaan Teollisuus 4.0:ksi (englanniksi Industry 4.0). Teollisuus 4.0 -ympäristössä toisiinsa kytketyt tietokoneet ja älykkäät koneet kommunikoiivat keskenään ja ovat vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa tehden lopulta päätöksiä ilman tai hyvin vähällä ihmisen osallistumisella. (Ghobakhloo 2020, 2–3.)

Terminä Teollisuus 4.0 sai alkunsa vuosina 2011–2012 Saksan hallituksen huipputeknologian hankkeesta, joka kannatti teollisuuden tietokoneistamista. Teollisuus 4.0 perustuu kyberfyysisten järjestelmien konsepteihin ja esineiden internetiin. Teollisuus 4.0:ssa koneet, laitteet ja tuotteet koostuvat CPS-järjestelmistä, jotka itsenäisesti vaihtavat tietoa, käynnistävät toimintoja ja ohjaavat toisiaan. Tehtaiden älykkäissä ympäristöissä todellisen ja digitaalisen maailman välinen kuilu pienenee. (Okano 2017, 75.)

### 3 ÄLYKKÄÄN RAKENTAMISEN TEKNIKKAA

#### 3.1 Kotiautomaation elementtejä

Älykäs koti rakentuu kotiautomaation elementeistä, joiden avulla seurataan, ohjataan ja automatisoidaan kotiin liitettyjä laitteita. Nämä laitteet voivat olla käytännössä mitä tahansa: kodinkoneet, ovien lukitusjärjestelmät, verhot tai autotallin ovet. Kotiautomaatio on muuttumassa ylellisyydestä kaikkien tavoittelemaksi hyödykkeeksi. Suosituimpia älykkäitä järjestelmiä esineiden internetin markkinoilla ovat älykodit, älykkäät ajoneuvot, älykellot ja muut terveyteen liittyvät älykkäät palvelut. Kodeissa on lukuisia käyttötapoja, mihin automaatiota voisi soveltaa, joten älykodin ratkaisut ovat vahvimmin esillä. (Mäkinen 2016, 5–6.)

Kotiautomaatiojärjestelmän asentamisessa tulee ottaa huomioon jokaisen laitteen standardit ja tiedonsiirtomenetelmät. Pienempään tietoliikenteeseen käytetään usein langattomia moduuleita. Myös langallisia standardeja käytetään, mutta langattomuus palvelee kotiautomaation käyttötarkoituksia parhaiten. Siirreltävyys on tärkeä asia älykodin käytettävyydessä. (Mäkinen 2016, 6–7.)

Älykkään rakennuksen kommunikaatiossa tulee ottaa huomioon muutamia olennaisia ominaisuuksia. Yhteyden luotettavuus on ensisijaista tärkeille toiminnoille, kuten ovien lukoille, hälytyksille ja lämmitykselle. On tärkeää, että kaikki viestit saavuttavat määränpänsä ja vastaanottava laite kuittaa saamansa tiedon takaisin lähettäjälle. Tämä kahdensuuntainen kommunikaatio määrittelee luotettavan viestinnän. (Paetz 2017.)

##### 3.1.1 Z-Wave

Z-Wave on suosittu langaton tiedonsiirtomenetelmä kotiautomaatiojärjestelmissä. Sen avulla voidaan ohjata eri laitteita, kuten valaistusta, lämmitystä, ilmastointia ja viihde-elektroniikkaa. Useiden järjestelmien yhteen liittäminen luo älykkään kodin, jossa eri valmistajien laitteet toimivat keskenään. Tämä ja kaikkien laitteiden ohjauksen mahdollisuus yhdestä käyttöliittymästä ovat tärkeimpiä osia älykkäässä kotiautomaatiossa. (Paetz 2017.)

On tärkeää varmistaa, etteivät kolmannet osapuolet pääse vahingossakaan häiritsemään viestintäjärjestelmää, ja se voidaan estää salauksien ja kättelymekanismien avulla. Kotiautomaation tulee myös helpottaa elämää, ei vaikeuttaa sitä, ja järjestelmien edullinen hinta takaa laajan hyväksynnän. (Paetz 2017.)

### 3.1.2 Zigbee

Zigbee on langattomana teknologiana yksi suosituimmista, sillä se on avoin standardi, virrankulutukseltaan vähäinen ja edullisesti käyttöönotettava protokolla tiedonsiirtoon. Se on rakennettu olemassa olevalle IEEE 802.15.4 -protokollalle. Zigbee soveltuu hyvin henkilökohtaisiin verkkojärjestelmiin, kuten kodin ja teollisuuden automaatio- ja valvontajärjestelmiin. (Omojokun 2015, 47.)

Zigbee on suunniteltu toimimaan alhaisella virrankulutuksella ja sopii erityisesti akkukäyttöisiin järjestelmiin. Sillä on kuitenkin alhainen tiedonsiirtonopeus, verkko voi olla epävakaa ja sen ylläpitokustannukset voivat olla korkeat. (Stolojescu-Crisan, Crisan & Butunoi 2021, 2.) Vaikka Zigbeeen suunnitteluspesifikaatio sisältää tietoliikenteen luotettavuutta ja eheyttä suojaavia tietoturvaominaisuuksia, yksinkertaisuus ja edullisuus sen tärkeimpinä tavoitteina heikentävät sen turvallisuutta. (Omojokun 2015, 47.)

### 3.1.3 Wi-Fi

Verrattuna Z-Waveen tai Zigbeehen Wi-Fi-tekniikka kotiautomaatiojärjestelmissä on edullisempi, yksinkertaisempi ja saavutettavampi. Wi-Fi-yhteensopivat älylaitteet ovat edullisia, sillä Wi-Fi on välttämättömyys jo useissa kodeissa, joten Wi-Fi-yhteensopivia laitteita on helppo löytää. Wi-Fi-tekniikka on yksinkertainen, sillä toimivan kotiautomaatiojärjestelmän luomiseen tarvitaan vain muutama yhdistettävä laite. (Stolojescu-Crisan ym. 2021, 2.)

Wi-Fiä ei kuitenkaan ole suunniteltu mesh-verkoille, sillä se kuluttaa kymmenen kertaa enemmän energiaa kuin vastaavat Zigbee-, Z-Wave- tai Bluetooth-laitteet. Monet Wi-Fi-reitittimet voivat sallia enintään 30:n laitteen yhdistämisen kerralla. Kotiautomaatiota ajatellen Wi-Fi-verkon kantavuus ei välttämättä yllä kodin seinien läpi, ja Wi-Fi-yhteys on aina hitaampi kuin langallinen verkko. (Stolojescu-Crisan ym. 2021, 2.)

### 3.1.4 Avoimen lähdekoodin laitteisto

Edullisia avoimen lähdekoodin komponentteja, kuten Arduino- ja Raspberry Pi-mikrokontrollereita on käytetty paljon kotiautomaatiojärjestelmissä. Arduino on edullinen ja helppokäyttöinen, ja sillä on suuri ja aktiivinen käyttäjäyhteisö. Kehittyneemmille ja monimutkaisemmille projekteille Arduino ei kuitenkaan ole ideaali. (Stolajescu-Crisan ym. 2021, 2–3.)

Raspberry Pi on luottokortin kokoinen tietokone, joka on edullinen ja hyvin monikäyttöinen. Raspberryä voi käyttää tavallisen tietokoneen tapaan, sen avulla voi opetella ohjelmoimaan, ja sitä voi käyttää erinäisissä IoT-projekteissa. (Richardson & Wallace 2012.) Vaativimmille kotiautomaatiojärjestelmille Raspberry Pi on muita mikroprosessoreita parempi vaihtoehto. Suurin osa Raspberryllä tehdyistä ohjelmistoista on avointa lähdekoodia, ja ne usein käyttävät Pythonia ohjelmointikielensä. Raspberry on lisäksi energiatehokas eikä vaadi erillistä jäähdytysjärjestelmää. (Stolajescu-Crisan ym. 2021, 3.)

### 3.2 Kotiautomaatiojärjestelmiä

Tunnetuimpina esimerkkeinä Amazonin Alexa, Googlen Nest ja Philips Hue-laitteet ovat valmiita kotiautomaatiopaketteja, ja niiden kasaamiseen ja asentamiseen ei tarvitse teknistä osaamista (Diaz & Jackson 2023). Ne toimivat usein äänikomennoilla tai älypuhelinsovelluksen kautta. Valmiit järjestelmät tulevat kuitenkin usein kalliimmiksi kuin esimerkiksi itse rakennetut, Raspberry Pi-pohjaiset järjestelmät. Hinta riippuu kuitenkin paljon henkilön tarpeista ja toiveista kotiautomaation suhteen.

Venkatesh, Rajkumas, Hemaswathi ja Rajalingan esittelevät artikkelissaan Raspberry Pi -pohjaisen, Bluetooth-, Wi-Fi- ja Zigbee-tekniikoilla toimivan kotiautomaatiojärjestelmäprototyypinsä. Kaikki kodin laitteet ovat relemoduulin kautta yhteydessä kodinkoneisiin. Ohjausjärjestelmänä toimivaan mobiililaitteeseen Raspberry Pi ottaa yhteyden Wi-Fi:n avulla. Pilvipalvelimen avulla kodinkoneita voi ohjata ja valvoa mistä tahansa. (Venkatesh, Rajkumar, Hemaswathi & Rajalingam 2018, 1721–1727.)

Froiz-Miguez, Fernandez-Carames, Fraga-Lamas ja Castedo ehdottavat tutkielmassaan Zigbee-teknologiaa käyttävää älykkään kodin energianhallintajärjestelmää. Järjestelmä on suunniteltu auttamaan käyttäjiä hallitsemaan energiankäyttöään erilaisilla kodin laitteilla ja antureilla. Järjestelmä koostuu keskusohjaimesta, Zigbee-pohjaisista älymittareista ja laitteista, kuten termostaateista ja valaistuksen säätimistä. Zigbee-teknologiaa käytetään kommunikoimiseen järjestelmän ja komponenttien välillä, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonvaihdon. Järjestelmässä on käytössä esimerkiksi energianvalvontaa ja toimintoja aikataulujen perusteella. Artikkelissa esitellään tuloksia tapaustutkimuksesta, jossa järjestelmä otettiin käyttöön tosielämässä. Tulokset osoittivat, että järjestelmä parantaa tehokkaasti energiankulutusta. (Froiz-Miguez, Fernandez-Carames, Fraga-Lamas & Castedo 2018.)

## 4 MIKRORAKENNUS IOT-MAAILMASSA

### 4.1 CoolBox

CoolBox on Lapin ammattikorkeakoulun hanke, jonka merkittävimpanä prototyyppinä on vuodesta 2020 asti rakennettu siirrettävää, älykästä mikrorakennusta. Rakennusalalla digitalisaation hyödyntäminen on kasvanut hitaasti viime vuosikymmenten aikana. Sen ja Lapissa eletävän matkailubuumin vuoksi on hyvä mahdollisuus kehittää kysyntälähtöistä, digitaalista rakentamista. Majoituskapasiteetti on täyttynyt useissa Lapin matkailukeskuksissa, mikä aiheuttaa ongelmia niin yrityksille kuin muille palveluntarjoajille. Matkailukeskusten ongelmana on, että uusia rakennuksia tai rakennuslupia ei sallita kaavoituksen takia. (CoolBox-hanke 2020.)

Matkailun trendien mukaan pienrakennuksien kysyntä on kasvussa. Myös ympäristöystävällisten, uusiutuvaa energiaa käyttävien off-grid-majoitusmahdollisuuksien tarve on kasvanut ilmastonmuutoksen vuoksi. Rakennusratkaisujen lisäksi kiinnostusta on myös asumismukavuuteen, asumiskustannuksiin ja ympäristöystävällisyyteen liittyviin tekijöihin. (CoolBox-hanke 2020.) Kuviossa 1 näkyy mikrorakennusprototyyppi rakennusvaiheessa Lapin ammattikorkeakoulun parkkipaikalla huhtikuun 2023 alussa.



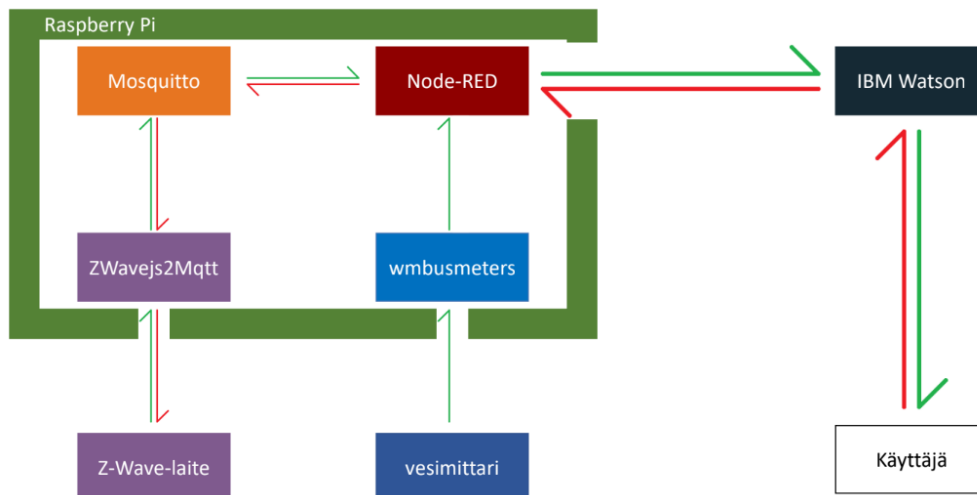
Kuvio 1. CoolBox-mikrorakennus rakennusvaiheessa



#### 4.1.1 CoolBox-mikrorakennuksen IoT-arkkitehtuuri

CoolBox on mikrorakennus, jossa on käytetty useita älykkään rakentamisen komponentteja. Tiedonsiirto-protokollina käytetään Wi-Fiä, Z-Wavea, Bluetoothia ja wM-Busia. wM-Bus eli wireless M-Bus on langaton kommunikaatioprotokolla, jota käytetään usein erilaisten sähkömittarien etälukemiseen. (STMicroelectronics 2023.)

Kuviossa 2 esitetään CoolBoxin tärkeimmät IoT-komponentit ja niiden väliset kommunikaatioprotokollat. ZWavejs2Mqtt-ohjelmisto on nimetty uudelleen vuonna 2022 Z-Wave JS UI:ksi. Liitteessä 1 on esitelty tarkemmin kaikki CoolBoxissa käytetyt automaatiolaitteet ja -sensorit käyttötarkoituksineen ja viestintäprotokollineen.



Kuvio 2. CoolBoxin IoT-arkkitehtuuri (Eloranta 2022a)

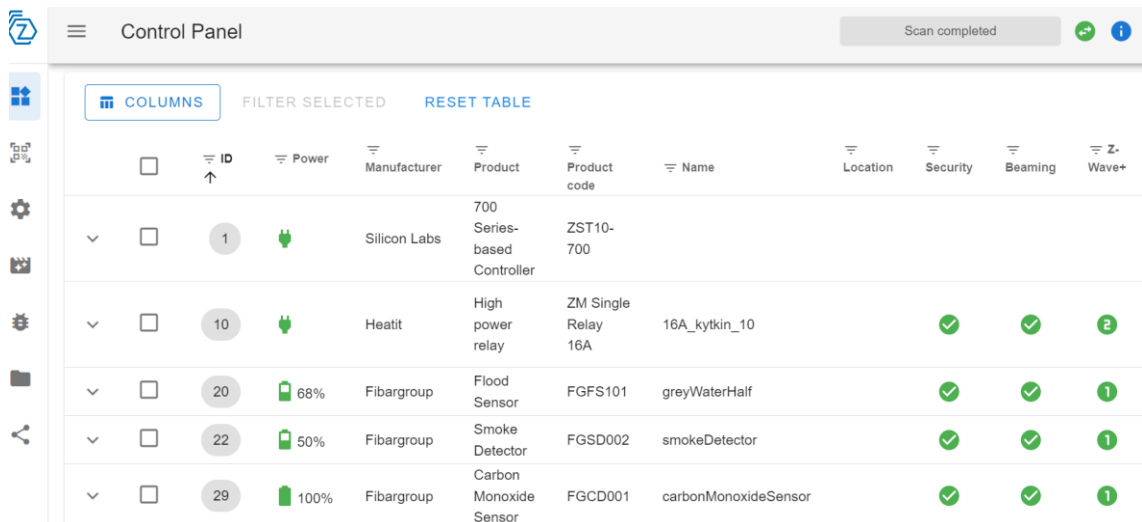
#### 4.1.2 Laitteisto ja protokollat

CoolBoxin kaikki laitteet, paitsi vesimittari, toimivat Z-Wave-protokollalla. Laitteita on yhteensä noin 40 kappaletta. Z-Wave-tekniikan valitsemista on perusteltu sillä, että menetelmä on entuudestaan tuttu, laitteita löytyi helposti ja tietoturva on parempi kuin esimerkiksi Zigbee-verkossa. Z-Wave-laitteita voi yhdistää helposti muiden sertifioitujen Z-Wave-laitteiden kanssa merkistä riippumatta, kunhan molemmat toimivat samalla taajuusalueella. Z-Wave-protokolla sisältää

kaksi erityyppistä tunnistetta; home id merkitsee kaikkia verkossa olevia laitteita ja node id tunnistaa jokaisen laitteen erikseen (Krasniqi & Vershevci 2020).

Jokaisesta Z-Wave-verkkoon yhdistetystä laitteesta tulee signaalin toistin, joten enemmän laitteita tarkoittaa vahvempaa signaalia. Signaali voi ”hyppiä” laitteiden välillä yhteensä jopa noin 180 metrin etäisyyden. Yhteen Z-Wave-verkkoon voi olla yhteydessä jopa 232 laitetta. (Z-Wave 2023.) Z-Waven etuja on kahdensuuntainen kommunikaatio, missä viestin vastaanottajalaite kuittaa lähettäjälle aina saatuaan viestin (Krasniqi & Vershevci 2020).

CoolBoxissa käytetään Aeotecin Z-Pi 7 -yhdyskäytävämoduulia, jonka avulla Raspberry Pin saa toimimaan yhdessä Z-Waven kanssa. Moduuli kytketään Raspberryn GPIO-pinneihin, ja se on suhteellisen pieni sekä fyysiseltä kooltaan että virrankulutukseltaan. Raspberryn Pissä on käynnissä ohjelmat Node-RED, MQTT-viestinvälittäjä Mosquitto, Z-Wave-laitteista huolehtiva Z-Wave JS UI (käyttöliittymä esitetty kuviossa 3) ja wM-Bus-laitteista vastaava wmbusmeters. Node-RED-ohjelma keskittää saadut anturitiedot ja lähettää ne IBM Watson -pilvipalveluun. (Eloranta 2022b.)



	ID	Power	Manufacturer	Product	Product code	Name	Location	Security	Beaming	Z-Wave+
	1		Silicon Labs	700 Series-based Controller	ZST10-700					
	10		Heatit	High power relay	ZM Single Relay 16A	16A_kytkin_10				
	20		Fibargroup	Flood Sensor	FGFS101	greyWaterHalf				
	22		Fibargroup	Smoke Detector	FGSD002	smokeDetector				
	29		Fibargroup	Carbon Monoxide Sensor	FGCD001	carbonMonoxideSensor				

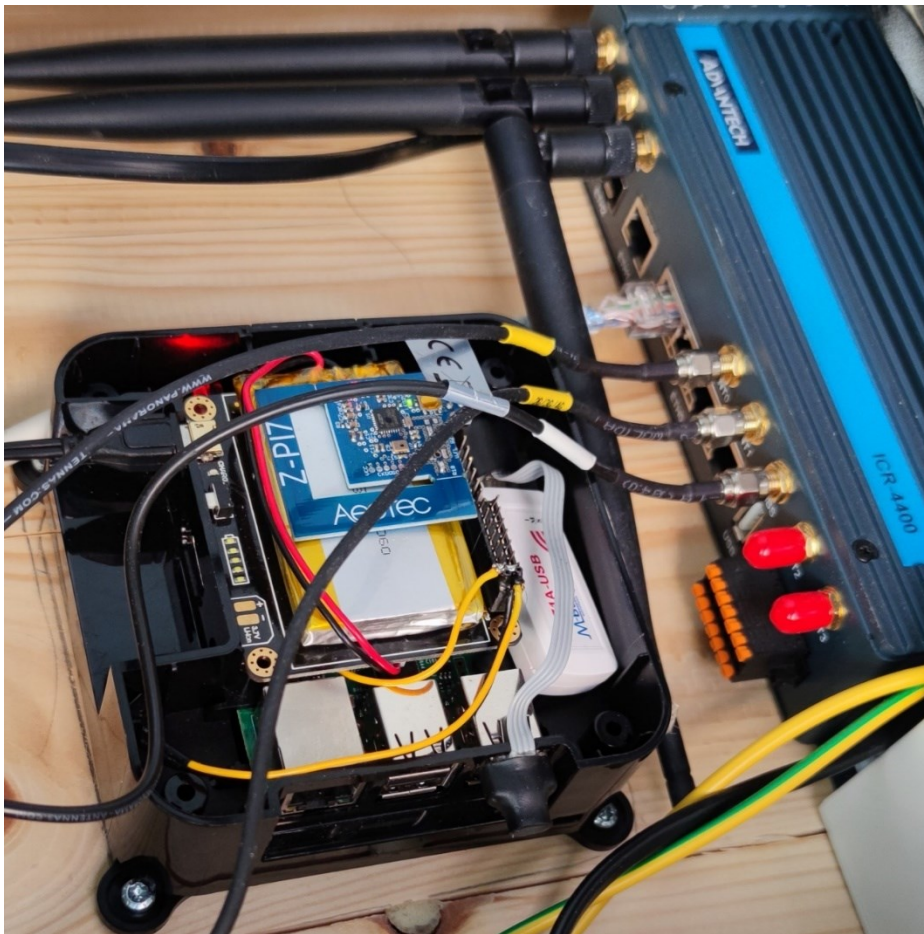
Kuvio 3. Z-Wave JS UI-käyttöliittymä

Z-Wave JS UI -ohjauspaneelissa on mahdollista lisätä uusia Z-Wave-laitteita, jolloin laitteet konfiguroidaan ja jokaiselle määrätään oma ID eli tunnusluku (Eloranta 2022b). Laitteiden ohjelmistoja voi päivittää valmistajan toimittamia laiteohjelmistotiedostoja käyttämällä. Ohjauspaneeli on myös täysin suojattu käyttäen

HTTPS:ää ja käyttäjän todennusta ja se tarjoaa myös täysin varustellun MQTT-yhdyskäytävän Z-Wave laitteiden löytämiseen. (GitHub 2023.)

Raspberry Piin on kytketty iM871A-USB-sovitin, jonka avulla voidaan ohjata ja hallita wM-Bus-vesimittaria. Uusien wM-Bus-laitteiden lisääminen järjestelmään vaatii toimittajalta tai maahantuojalta saatavan salausavaimen. Anturipaketin kasaamisen aikaan markkinoilta ei löytynyt Z-Wave-yhteensopivaa vesimittaria, joten päädyttiin käyttämään Kamstrupin Multical21-vesimittaria. Vesimittari toimii ultraääniteknologialla ja lähettää tietoa 96 sekunnin välein. (Eloranta 2022b.)

Kuviossa 4 näkyy Raspberry Pi Z-Wave- ja wM-bus-sovittimeen. Kuvassa oikealla Raspberryyn on kytketty Advantechin reititin, joka luo CoolBoxille oman WiFi-verkon, johon Raspberry yhdistyy.



Kuvio 4. Raspberry Pi oheislaitteineen CoolBoxissa

### 4.1.3 Node-RED-ohjelmisto

Node-RED on selainpohjainen ohjelmointityökalu, jota käytetään usein kotiautomaatiojärjestelmissä. Node-RED-ohjelman avulla automaatiolaitteita voidaan ohjelmoida toimimaan yhdessä, esimerkiksi ilmastoinnin voimakkuutta lämpötilatietojen perusteella. Node-RED-ohjelma hakee antureiden ajantasaiset mittaukset ja esittää ne graafisesti käyttöliittymässä. Node-REDin lisäksi tietokoneessa on käynnissä ohjelmat Z-Wave- ja wM-Bus-laitteille. Node-RED kommunikoi Z-Wave-käyttöliittymän kanssa MQTT-protokollalla, keskittää tiedot ja lähettää ne IBM Watson -pilvipalveluun. (Eloranta 2022b.)

CoolBox-rakennuksen sisällä on asukkaiden käytössä Raspberry Pin Node-RED-pohjainen, graafinen käyttöliittymä, josta käyttäjä voi nähdä esimerkiksi veden- ja sähkönkulutuksen sekä säädellä valaistusta. Loppukäyttäjälle tärkein moduuli IoT-järjestelmässä on käyttöliittymä. Käyttöliittymä on rakennuksen asukkaiden käytettävissä esimerkiksi tabletilta tai omasta älypuhelimesta. Paneeliin pääsee käsiksi, kun on omalla laitteellaan CoolBoxin kanssa samassa verkossa ja käyttöliittymään tulee kirjautua henkilökohtaisilla tunnuksilla. CoolBoxissa ei ole olenkaan valokatkaisijoita, vaan valojen ja pistorasioiden säätö tapahtuu käyttöliittymästä. Kuviossa 5 esitetään CoolBox-käyttöliittymä huhtikuussa 2023.

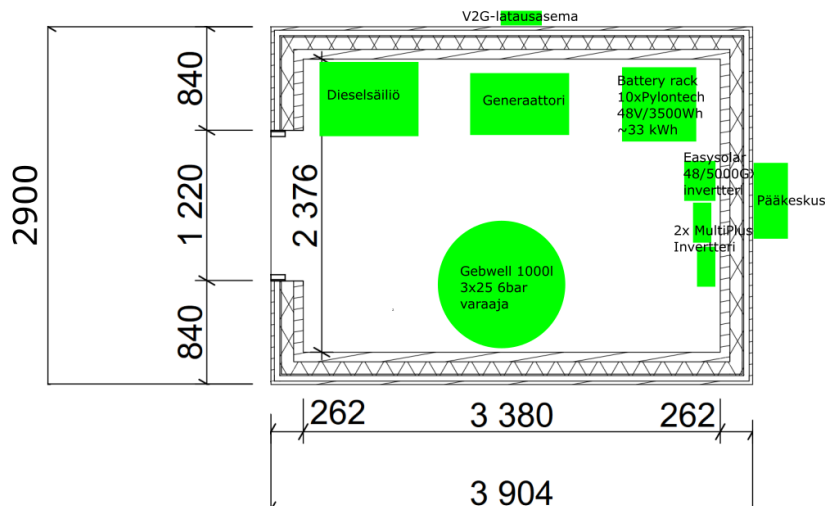


Kuvio 5. CoolBox-käyttöliittymän anturidataa

## 4.2 Off-grid-tekniikkaboksi

Off-grid tarkoittaa, että rakennus on irti yleisestä sähkö- tai vesijakelusta. Cool-Box-mikrorakennukseen kuuluu off-grid-käytön mahdollistava tekniikkaboksi, joka on yksi kymmenestä hankkeesta toteutettavista prototyypeistä. Boksi on irrallinen muusta mikrorakennuksesta, ja sen komponentteja voidaan räätälöidä käyttötarkoituksen mukaan. Boksissa uusiutuvaa energiaa hyödynnetään mahdollisimman paljon. (Kalliokoski-Silvestre 2021b.) Kuviossa 6 on esitetty luonnos tekniikkaboksin laitteista ja niiden sijoitteluista.

# TekniikkaBox lattia



Kuvio 6. Tekniikkaboksin laitteet (Eloranta 2023)

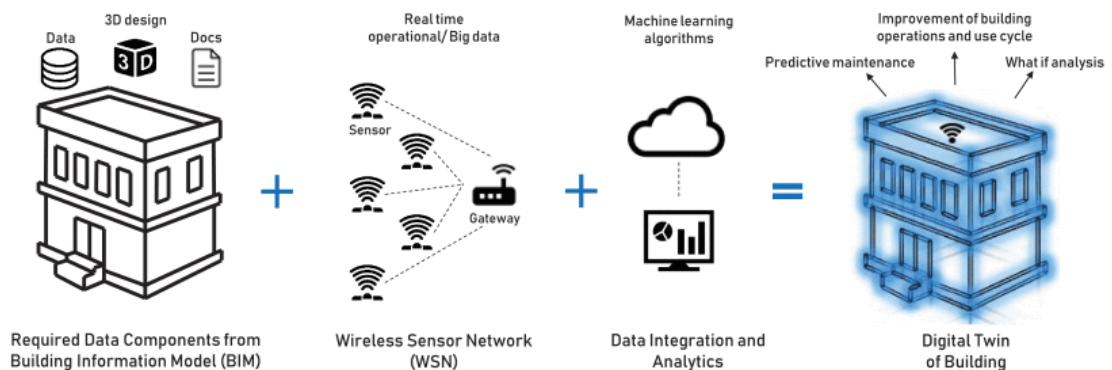
Tekniikkaboksin vastuulla ovat mikrorakennuksen energian tuotanto, varastointi ja hallinta sekä käyttöveden kerääminen. Järjestelmää ohjataan Node-RED-pohjaisella pääohjausyksiköllä, joka ohjaa tuotantoa ja lämmönkiertoa perustuen anturien antamaan tietoon. (Kalliokoski-Silvestre 2021a.)

Off-grid-mahdollisuuden avulla mikrorakennus on mahdollista sijoittaa käytännössä minne tahansa. Vaikka rakennuksen ulkopuolella oleva ympäristö ei kuulu rakennuksen varsinaisiin ominaisuuksiin, se on silti merkittävä tekijä viihtyvyyden kannalta.

### 4.3 Digitaalinen kaksonen

Yksi CoolBoxin IoT-prototyypeistä on rakennuksen digitaalinen kaksonen. Kaksoseen kuuluu anturipaketti, joka sisältää useaa erilaista tekniikkaa. Kaikki olennainen tieto rakennuksen toiminnasta kerätään ja tuodaan yhteen käyttöliittymään. Rakennuksen ylläpidon tarpeista kootaan tietoa automaattisesti ja älykkäästi. Dataa tuotetaan muun muassa sisäilman laadusta, vesivuodoista, häkä- ja palovaroittimista ja vesimittarista. (Meriläinen 2020.)

Anturipaketin avulla jo olemassa olevasta rakennuksesta voidaan luoda digitaalinen kaksonen. Digitaalisen kaksosen avulla rakennus voidaan tuoda eloon myös etäkäytössä ja sitä voidaan visualisoida anturitiedon avulla. (CoolBox-hanke 2020.) Kuvioon 7 on visualisoitu digitaalisen kaksosen tärkeimpiä elementtejä.



Kuvio 7. Digitaalisen kaksosen tärkeimmät komponentit (Khajavi, Otlagh, Jari-bion, Werner & Holmström 2019)

Digitaalinen kaksonen ei ole uusi konsepti; jo 1960–1970-luvuilla NASA:n Apollo-ohjelmassa rakennettiin kaksi identtistä ajoneuvoa, joista toinen laukaistiin avaruuteen, ja toinen jäi Maahan auttamaan astronautteja mahdollisten ongelmatilojen ratkaisussa (Solja 2022, 9-10). Kotiautomaatiossa digitaalinen kaksonen voi olla hyvinkin hyödyllinen: mahdolliset laitteiden vikatilanteet voidaan huomata etäyhteydellä kaksosesta. Ongelmien paikallistaminen on helpompaa, ja rakennuksen luona ei tarvitse käydä erikseen selvittämässä, mikä osa on rikki tai viallinen.



## 5 IOT-YMPÄRISTÖN MONISTAMINEN

### 5.1 Modulaarisuus ja modulaarinen kotiautomaatiojärjestelmä

Modulaarisuuden on todistettu olevan hyödyllinen monimutkaisten järjestelmien käsittelemisessä. Moduulit ovat järjestelmän elementtejä, jotka toimivat yhdessä, mutta myös itsenäisinä kokonaisuuksina. (Baldwin & Clark 2000, 63.)

Arkkitehtuurin kontekstissa modulaarisuudella tarkoitetaan määrämittäisiä, standardoidusti yhteen liitettäviä elementtejä. Moduulit ovat itsenäisiä rakennusosia, joissa on toiminnallisia ominaisuuksia ja jotka sisältävät tietyn määrän itsenäisiä toimintoja suhteessa valmiiseen rakennukseen. Rakennuskappaleen tulee siis toimia myös irrallisena muusta kokonaisuudesta, kuten valmiiksi koottu märkätalaita keittiöelementti. Yhdistelemällä suhteellisen pieniä määriä moduuleita on mahdollista tuottaa useita erilaisia lopputuotteita. Modulaarisella rakentamisella mahdollistetaan rakennuksen helppo variointi ja räätälöinti. (Kunnas 2019, 10.)

Asiakkaat eivät ole enää vain passiivisia ostajia, koska he voivat osallistua tuotteidensa räätälöintiin. Yritykset, jotka pystyvät tarjoamaan modulaarisia ratkaisuja, saavuttavat merkittävän kilpailuedun asiakastyytyvyyden lisäksi. IoT:tä käyttävien tuotteiden sisältö on optimoitava asiakkaiden yksilöllisten vaatimuksen mukaisesti. (Ostrosi & Sagot 2020, 602–603.)

Erilaisten anturien ja viestintäprotokollien lisääntyminen sekä IoT-tekniikoiden aiheuttamat tietoturvaasteet ovat saaneet suunnittelijat tekemään vaikeita valintoja optimaalisen IoT-ratkaisun suunnittelussa. Tuotteen modulaarisuuden tärkeimmät kriteerit ovat komponenttien erotettavuus ja yhdistettävyyden. Muita kriteerejä ovat esimerkiksi yhteneväisyys ja liitännän standardointi. (Ostrosi & Sagot 2020, 603.)

Yleisesti kotiautomaation käsite sisältää kaikkien kodin laitteiden keskitetyn ohjauksen, kuten valaistuksen, LVI:n ja turvalaitteiden. Kerätyn tiedon raportointi ja minkä tahansa elektroniikan tai laitteiden hallinnan mahdollistava järjestelmä on kasvattanut suosiotaan internetiin kytkettyjen laitteiden määrän kasvun myötä. (Popa, Pop, Serbanescu & Vastiglione 2019, 1317.) Kotiautomaation suosio on kasvanut viime vuosien aikana, sillä sen toteuttaminen on entistä helpompaa ja

edullisempaa. Kotiautomaatiojärjestelmä automatisoi tehtävät, joita on ennen tehty manuaalisesti. (Luukkonen 2022, 1–3.)

Modulaarisuus kotiautomaatiojärjestelmissä tarkoittaa, että tavallinenkin kuluttaja voi tehdä kodistaan älykkään vaivattomasti. Modulaarinen kotiautomaatiojärjestelmä voi olla huomattavasti edullisempi kuin palveluntarjoajalta tilattu valmis paketti, sillä älykkäitä järjestelmiä voi integroida kotiin yksi kerrallaan tarpeiden ja halujen mukaisesti. Laitteita voi myös hankkia eri valmistajilta, sillä langattomien protokollien ansiosta ne voivat toimia yhdessä. Laitteet tuovat lisäarvoa ja mukavuutta myös yksinään, ja omaa järjestelmää voi kustomoida rajattomasti.

Kotiautomaatiojärjestelmästä tekee modulaarisen se, että järjestelmän toiminnot on mahdollista erottaa erillisiksi komponenteiksi. Jokainen järjestelmän moduuli vastaa tietyistä toiminnoista, kuten lämpötilan mittauksesta tai valaistuksen ohjauksesta. Tämä erottelu mahdollistaa moduulien helpon lisäämisen tai poistamisen ilman, että se vaikuttaa koko järjestelmään. Myös standardoidut protokollat ja rajapinnat helpottavat eri toimittajien laitteiden integrointia.

Langattomat kotiautomaatioteknologiat, kuten Z-Wave, ovat jo itsessään modulaarisia. Z-Wave on suunniteltu skaalautuvaksi järjestelmäksi, sillä uuden laitteen lisääminen ei vaadi monimutkaisia johdotuksia tai asennuksia. Laitteet voidaan myös poistaa tai vaihtaa helposti ilman, että se vaikuttaa muuhun verkkoon.

## 5.2 CoolBoxin ratkaisujen monistaminen

CoolBox on ensimmäinen laatuaan, ja niin on myös sen IoT-ympäristö. Jos tulevaisuudessa rakennettaisiin lisää CoolBoxeja tai samankaltaisia mikrorakennuksia, tulee nykyisen järjestelmän toimivuutta ja mukautettavuutta miettiä. Modulaarisen kotiautomaatiojärjestelmän monistaminen uuteen ympäristöön vaatii uuden ympäristön eli rakennuksen vaatimusten määrittelyä. Rakennuksen neliö- ja kerrosmäärä ja halutut toiminnot tulee ottaa huomioon valittaessa tarvittavia komponentteja ja moduuleja; tarvitseeko joitain laitteita ja ohjelmistoja lisätä tai poistaa. Kaikki ympäristön komponentit, kuten anturit, laitteet ja ohjelmistot tulee eritellä ja mahdolliset uudet laitteet ja ohjelmistot tulee konfiguroida vastaamaan uuden ympäristön vaatimuksia.



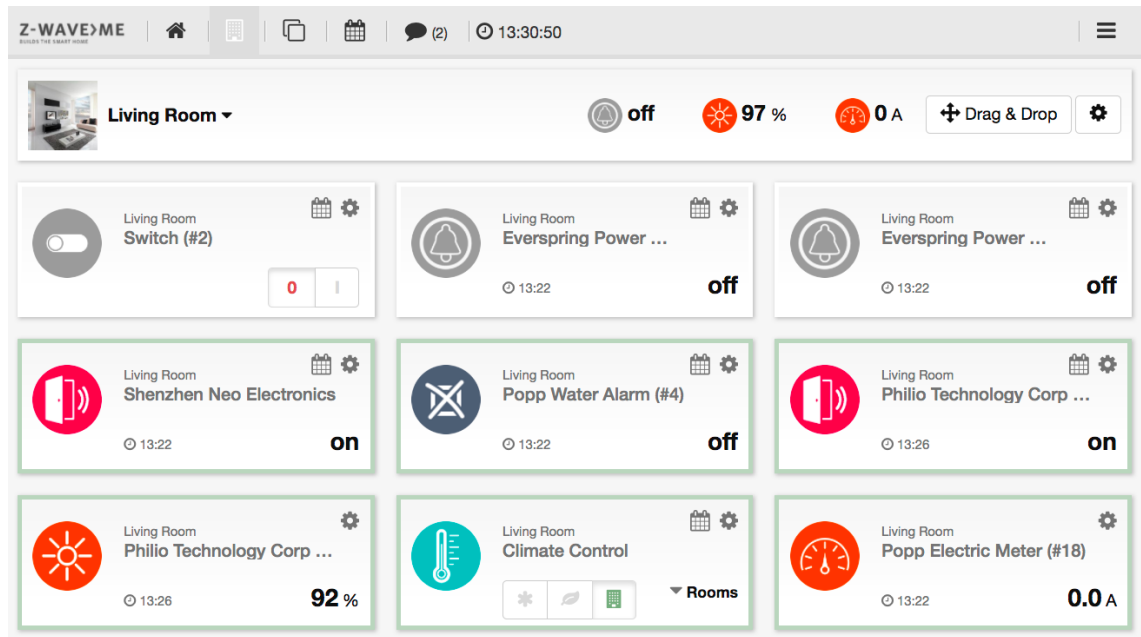
CoolBoxin automaatiolaitteet on valittu niiden vaivattomuuden, saavutettavuuden ja helpon integroinnin takia. Laittepuolelle on helppo lisätä uusia Z-Wave-laitteita helppokäyttöisen web-paneelin takia, mutta ohjelmistorajapinta ei tällaisenaan ole vielä modulaarinen.

Monistamista ja modulaarisuutta helpottaa Z-Wave-laitteiden käyttö. Z-Wave-laitteet ovat keskenään yhteensopivia ja helposti integroitavia. Z-Wave-käyttöliittymään voi helposti lisätä muita Z-Wave-laitteita muutamalla painalluksella. Jos laite tukee SmartStartia, laite on konfiguroitu jo tehtaalla ja sen käyttöönotto vaatii vain laitteessa olevan QR-koodin lukemisen.

CoolBoxissa muotoilu ja design on tärkeää, ja mikrorakennuksen ja muiden prototyyppien viimeisetkin yksityiskohdat on suunniteltu visuaalisesti näyttäväiksi. Node-RED-pohjaisen ohjelman suurimpia etuja on, että käyttöliittymää voi visuaalisesti muokata ja kustomoida käytännössä rajattomasti HTML- ja CSS-koodilla. Nykyisellään Node-RED-käyttöliittymään pitää itse ohjelmallisesti lisätä moduulit, jos järjestelmään tulee uusia laitteita. Uusi laite lisätään ja konfiguroidaan ensin Z-Wave-käyttöliittymään, minkä jälkeen Node-REDin puolelle lisätään uudet nodet ja ne yhdistetään toisiinsa. Ohjelmiston modulaarisuutta ja monistamista tukisi, jos ohjelma pystyisi automaattisesti lisäämään uuden laitteen käyttöliittymään.

Z-Way on avoimen lähdekoodin Z-Wave-ohjelmistoalusta, joka voidaan asentaa Raspberry Pi-laitteeseen RaZberry-kortin avulla (Z-Wave.me 2023a). Ohjelmiston asentaminen tietokoneeseen on yksinkertaista. Z-Way tarjoaa käyttöliittymän, jonka avulla voidaan hallita ja ohjata useita laitteita samanaikaisesti. Käyttöliittymä on saatavilla nettiselaimessa ja älypuhelinsovelluksena paikallisessa palvelimessa. Järjestelmään liitettyjen laitteiden toiminnot näytetään käyttöliittymässä yksittäisinä elementteinä, ja elementtejä voidaan järjestää ryhmiin esimerkiksi huoneiden mukaan. Käyttöliittymää on mahdollista kustomoida visuaalisesti. (Z-Wave.me 2023b.)

Kuviossa 8 näkyy esimerkki Z-Way-käyttöliittymästä. Uusien laitteiden lisääminen on samankaltainen prosessi kuin Z-Wave JS UI:ssa. Liittymässä on mahdollista määrätä tietyille henkilöille järjestelmänvalvojan oikeuksia. (Z-Wave.me 2023b.)



Kuvio 8. Z-Way-käyttöliittymä (Z-Wave.me 2023b)

Z-Way-käyttöliittymään on mahdollista olla yhteydessä paikallisen Z-Wave-verkon ulkopuolelta, mutta se vaatii reitittimen konfigurointia. Yksinkertaisempi ratkaisu olisi, jos käyttöliittymä olisi kokonaan pilvipalvelussa, jolloin Raspberryyn ei tarvitsisi ottaa suoraa yhteyttä. Raspberry toimisi rakennuksessa kuitenkin tiedonkeruutarkoituksessa.

CoolBoxissa ainoa laite, joka ei ole yhteensopiva Z-Waven kanssa, on vesimittari. Modulaarisuutta helpottaisi ja järjestelmää yksinkertaistaisi Z-Wave-yhteensopiva vesimittari, mutta sopivaa ei löydy markkinoilta. Ohjelmiston suunnittelussa tulee ottaa huomioon, tukeeko ohjelmistoalusta nykyisen vesimittarin WM-Bus-protokollaa.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten olemassa olevaa IoT-ratkaisua pitäisi muokata siten, että se olisi helpompi jakaa modulaarisiksi osiksi ja integroida uuteen ympäristöön. Tuloksena syntyi kirjallinen raportti CoolBox-projektin aikana syntyneistä IoT-prototyypeistä sekä selvitys mikrorakennuksen laitteistoista, ohjelmistoista ja viestintäprotokollista. Erilaisia menetelmiä ja protokollia myös vertailtiin kotiautomaation näkökulmasta.

Kirjallisuuskatsauksien ja muiden akateemisten artikkeleiden ja tutkimusten pohjalta opinnäytetyössä kartoitettiin älykkään rakentamisen, esineiden internetin ja suosituimpien kotiautomaatioprotokollien keskeisiä toimintaperiaatteita ja käyttötapoja. Työssä selitettiin modulaarisuuden historiaa arkkitehtuurissa ja sen merkitystä älykkäässä rakentamisessa.

Rakentamisen kontekstissa modulaarisuuteen törmää usein. Rakennusten eri osat valmistetaan tehtailla ja kootaan vasta rakennustyömaalla. Katot tai jopa kokonaiset huoneet voivat olla moduuleita. Rakennuksen kokoaminen moduuleista säästää aikaa, rahaa ja vaivaa, ja asuintilaa on mahdollista räätälöidä moduulien avulla.

Työssä tarkasteltiin CoolBoxin tekniikkaratkaisuja kriittisesti ulkopuolisen näkökulmasta. CoolBox-projektissa mukana olleet eri alojen asiantuntijat ovat suunnitelleet ja rakentaneet toimivan kotiautomaatiojärjestelmän alusta asti. Vaikka CoolBox-rakennus on vasta prototyyppi eli kehittämismahdollisuuksia löytyy, on järjestelmä toimiva ja johdonmukainen. Työn aikana johtavaksi kotiautomaatioteknologiaksi nousi Z-Wave; sen suosio, langattomuus rajattomat kustomointimahdollisuudet helpottavat modulaarisemman kotiautomaatiojärjestelmän suunnittelua. Z-Wave-laitteiden käyttö CoolBoxissa on loistava valinta, sillä Z-Wave tukee modulaarisuutta ja järjestelmän monistamisen helppoutta.

Opinnäytetyöprosessin aikana oli mahdollisuus tutustua kotiautomaation konseptiin ja sen merkitykseen 2020-luvulla. Älykäs koti -idea on yleistynyt, ja nykyään kuka tahansa voi omistaa älykodin. Parhaimmillaan automatisoitu älykoti parantaa elämänlaatua ja vähentää tavallisen arjen kuormittavuutta. Kotiautomaatiojärjestelmät ovat oletuksena modulaarisia; jo muutamalla älykkäällä laitteella on

mahdollista luoda älykoti, ja laitteita voi lisätä tarpeiden, halujen ja kyvykkyyden mukaan. Modulaarisuudella on paljon etuja: järjestelmät ovat joustavia ja skaalautuvia mahdollistaen helpot muutokset, poistot ja lisäykset. Vianmääritykset ja korjaukset ovat vaivattomampia yksittäisissä moduuleissa, kun vika on paikallistettavissa. Yksittäisiä komponentteja on helpompi testata, mikä parantaa järjestelmän yleistä luotettavuutta.

## LÄHTEET

- Amazon 2023. What Is IoT (Internet of Things)? Viitattu 20.2.2023  
<https://aws.amazon.com/what-is/iot/#:~:text=The%20term%20IoT%2C%20or%20Internet,as%20between%20the%20devices%20themselves.>
- Baldwin, C. Y. & Clark, K. B. 2000. Design rules: The power of modularity (Vol. 1). MIT press. Viitattu 31.3.2023  
[https://books.google.fi/books?hl=en&lr=&id=oaBOuo4mld8C&oi=fnd&pg=PP13&dq=Baldwin,+C.+Y.+%26+Clark,+K.+B.+2000.+Design+rules:+The+power+of+modularity+\(Vol.+1\).+&ots=nF\\_abqmbIL&sig=zjzx6F3xqGiGoTa5NR0e2WiR4fs&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false.](https://books.google.fi/books?hl=en&lr=&id=oaBOuo4mld8C&oi=fnd&pg=PP13&dq=Baldwin,+C.+Y.+%26+Clark,+K.+B.+2000.+Design+rules:+The+power+of+modularity+(Vol.+1).+&ots=nF_abqmbIL&sig=zjzx6F3xqGiGoTa5NR0e2WiR4fs&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Collin, J. & Saarelainen, A. 2016. Teollinen Internet. Helsinki: Talentum media oy.
- CoolBox-hanke 2020. Hankesuunnitelma. Yksityinen arkisto.
- Diaz, M. & Jackson, S. 2023. The best home automations systems: Put your home on auto-pilot. Viitattu 3.5.2023 <https://www.zdnet.com/home-and-office/smart-home/best-home-automation-system/>
- Eloranta, V. 2022a. Anturipaketin esittely. Yksityinen arkisto.
- Eloranta, V. 2022b. Anturipaketin dokumentaatio. Yksityinen arkisto.
- Eloranta, V. 2023. Tekniikkabox laitesijoittelu. Yksityinen arkisto.
- Empirica 2023. Mikä on IoT? Viitattu 20.2.2023 <https://www.empirica.fi/iot/>.
- Erkkilä, J. 2022. Minikoti-innostus kasvaa - valmista jo muutamassa kuukaudessa. Viitattu 24.2.2022  
<https://www.salkunrakentaja.fi/2022/01/minikoti-innostus/>.
- Foote, K. 2022. A Brief History of the Internet of Things. Viitattu 20.2.2023  
<https://www.dataversity.net/brief-history-internet-things/#>.
- Froiz-Míguez, I., Fernández-Caramés, T. M., Fraga-Lamas, P. & Castedo, L. 2018. Design, implementation and practical evaluation of an IoT home automation system for fog computing applications based on MQTT and ZigBee-WiFi sensor nodes. *Sensors*, 18(8), 2660. Viitattu 1.5.2023  
<https://doi.org/10.3390/s18082660>.
- Ghobakhloo, M. 2020. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869. Viitattu 31.3.2023  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>.
- GitHub 2023. Z-Wave JS UI. Viitattu 17.4.2023 <https://zwave-js.github.io/zwave-js-ui/#/>.

Jia, M., Komeily, A., Wang, Y. & Srinivasan, R. S. 2019. Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. *Automation in Construction*, 101, 111-126. Viitattu 26.4.2023 <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.023>.

Kalliokoski-Silvestre, I. 2021b. CoolBox esittely 2021. Yksityinen arkisto.

Kalliokoski-Silvestre, I. 2021a. CoolBox 2. Ohjausryhmän kokous 2021. Yksityinen arkisto.

Khajavi, S. H., Motlagh, N. H., Jaribion, A., Werner, L. C. & Holmström, J. 2019. Digital twin: vision, benefits, boundaries, and creation for buildings. *IEEE access*, 7, 147406-147419. Viitattu 31.3.2023 <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2946515>.

Kumar, S., Tiwari, P. & Zymbler, M. 2019. Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review. Viitattu 20.2.2023 <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-019-0268-2>.

Kunnas, O. 2019. Modulaarisuus asuntoarkkitehtuurissa. Kandidaatintyö, Aalto-yliopisto. Viitattu 31.3.2023 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201906163834>.

Krasniqi, Z. & Vershevc, B. 2020. Smart home: Automatic control of lighting through z-wave IoT technology. In *Proceedings of the UBT International Conference, Lipjan, Kosovo (Vol. 31)*. Viitattu 17.4.2023 [https://www.researchgate.net/profile/Zijadin\\_Hkrasniqi/publication/345390600\\_Smart\\_Home\\_Automatic\\_Control\\_of\\_Lighting\\_through\\_Z\\_Wave\\_IoT\\_technology/links/5fa584f1299bf10f73295080/Smart-Home-Automatic-Control-of-Lighting-through-Z-Wave-IoT-technology.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Zijadin_Hkrasniqi/publication/345390600_Smart_Home_Automatic_Control_of_Lighting_through_Z_Wave_IoT_technology/links/5fa584f1299bf10f73295080/Smart-Home-Automatic-Control-of-Lighting-through-Z-Wave-IoT-technology.pdf).

Louis, J. N., Calo, A., Leiviskä, K. & Pongrácz, E. 2015. Environmental impacts and benefits of smart home automation: Life cycle assessment of home energy management system. *IFAC-PapersOnLine*, 48(1), 880. Viitattu 3.5.2023 <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.05.158>.

Luukkonen, A. 2022. Kotiautomaatio Raspberry Pin avulla. Kandidaatin työ, Tampereen yliopisto. Viitattu 26.4.2023 <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/143683/LuukkonenAleksi.pdf?sequence=2>.

Madakam, S. & Lake, V. 2015. Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(05), 164. Viitattu 26.4.2023 <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>.

Meriläinen, S. 2020. Digital Twin-proto; Business-potentiaalin tarkastelu, CoolBox. Yksityinen arkisto.

Mäkinen, J. 2016. Esineiden Internet ja kotiautomaatio. Insinöörityö, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 16.3.2023 <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201605117066>.

Okano, M. T. 2017. IOT and industry 4.0: the industrial new revolution. In International Conference on Management and Information Systems (Vol. 25, p. 26). Viitattu 11.4.2023 [https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Okano-2/publication/319881057\\_IOT\\_and\\_Industry\\_40\\_The\\_Industrial\\_New\\_Revolution/links/59c018a5aca272aff2e20639/IOT-and-Industry-40-The-Industrial-New-Revolution.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Okano-2/publication/319881057_IOT_and_Industry_40_The_Industrial_New_Revolution/links/59c018a5aca272aff2e20639/IOT-and-Industry-40-The-Industrial-New-Revolution.pdf).

Omojokun G. Aju 2015. A survey of zigbee wireless sensor network technology: Topology, applications and challenges. International Journal of Computer Applications 130.9 (2015): 47-55. Viitattu 19.3.2023 <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=e1556946fdc9e2684091a2db248df0beec5e48a2>.

Ostrosi, E. & Sagot, S. 2020. Modularity and Configuration Applied to Product Integrating the IoT Technology. In Transdisciplinary Engineering for Complex Socio-technical Systems—Real-life Applications (pp. 602-611). IOS Press. Viitattu 31.3.2023 <https://doi.org/10.3233/ATDE200121>

Paetz, C. 2017. Z-Wave Essentials. eBook Partnership. Viitattu 19.3.2023 [https://books.google.fi/books?hl=en&lr=&id=ONJHEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP11&dq=paetz+z-wave&ots=S2cAFeOJvQ&sig=o4iFxlCtJGvznySguUI8INdYz5g&redir\\_esc=y#v=onepage&q=paetz%20z-wave&f=false](https://books.google.fi/books?hl=en&lr=&id=ONJHEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP11&dq=paetz+z-wave&ots=S2cAFeOJvQ&sig=o4iFxlCtJGvznySguUI8INdYz5g&redir_esc=y#v=onepage&q=paetz%20z-wave&f=false).

Popa, D., Pop, F., Serbanescu, C. & Castiglione, A. 2019. Deep learning model for home automation and energy reduction in a smart home environment platform. Neural Computing and Applications, 31, 1317-1337. Viitattu 20.4.2023 <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3724-6>.

Richardson, M. & Wallace, S. 2012. Getting started with raspberry PI. " O'Reilly Media, Inc.". Viitattu 11.4.2023 [https://books.google.fi/books?id=xYhMliITwC4C&lpg=PR2&ots=W5bfjEecs\\_&dq=Getting%20started%20with%20raspberry%20PI.%20&lr&pg=PR1#v=onepage&q=Getting%20started%20with%20raspberry%20PI.&f=false](https://books.google.fi/books?id=xYhMliITwC4C&lpg=PR2&ots=W5bfjEecs_&dq=Getting%20started%20with%20raspberry%20PI.%20&lr&pg=PR1#v=onepage&q=Getting%20started%20with%20raspberry%20PI.&f=false).

Salo, I. 2014. Big data & pilvipalvelut. Helsinki: Docendo Oy.

Solja, A-M. S. 2022. Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen rakennetussa ympäristössä. Diplomityö, Tampereen yliopisto. Viitattu 31.3.2023 <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/142599/SoljaElena.pdf?sequence=2>.

STMicroelectronics 2023. WM-BUS. Viitattu 3.5.2023 <https://www.st.com/en/applications/connectivity/wm-bus.html>.

Stolojescu-Crisan, C., Crisan, C. & Butunoi, B. P. 2021. An IoT-based smart home automation system. Sensors, 21(11), 3784. Viitattu 8.4.2023 <https://doi.org/10.3390/s21113784>.

Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2017. Asuinkiinteistöä kehittävä linjasaneeraus – strategia, suunnittelu ja toteutus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

TEQU 2023. CoolBox-hanke. Viitattu 20.2.2023. <https://www.tequ.fi/fi/project-bank/coolbox/>.

Venkatesh, K., Rajkumar, P., Hemaswathi, S. & Rajalingam, B. 2018. IoT based home automation using raspberry Pi. J. Adv. Res. Dyn. Control Syst, 10(7), 1721-1728. Viitattu 20.4.2023 [https://www.researchgate.net/profile/Rajalingam-Balakrishnan/publication/327423472\\_IoT\\_Based\\_Home\\_Automation\\_Using\\_Raspberry\\_Pi/links/5b8e8433a6fdcc1ddd0cdf4a/IoT-Based-Home-Automation-Using-Raspberry-Pi.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rajalingam-Balakrishnan/publication/327423472_IoT_Based_Home_Automation_Using_Raspberry_Pi/links/5b8e8433a6fdcc1ddd0cdf4a/IoT-Based-Home-Automation-Using-Raspberry-Pi.pdf).

Z-Wave.me 2023a. Z-Way for Raspberry Pi, Windows, Linux. Viitattu 3.5.2023 <https://z-wave.me/z-way/>.

Z-Wave 2023b. The Web Browser User Interface. Viitattu 3.5.2023 [https://z-wave.me/manual/z-way/Web\\_Browser\\_User\\_Interface.html#SECTION00510000000000000000](https://z-wave.me/manual/z-way/Web_Browser_User_Interface.html#SECTION00510000000000000000).



## LIITE

Liite 1. Luettelo CoolBoxissa käytetyistä automaatiolaitteista (mukailen Eloranta, V. 2023)

type	brand	part number	protocol	used for
wall plug/outlet	fibaro	FGWPF-102 FGWOF-011	z-wave	remote controlling sockets
indoor temperature, humidity, voc, particle, co2, noise, smoke, illumination, movement	mcohome	Multi Sensor	z-wave	air quality
indoor air, temp, hum, dew, co2, voc	eurotronic	Air Quality Sensor	z-wave	air quality
3-phase electricity	qubino	3-phase smart meter	z-wave	measuring AC usage
16 A relay	Heatit	ZM Single Relay 16A	z-wave	remote controlling IP65 sockets
10 A relay	fibaro	FGS-223	z-wave	spotlights, floor heating
flood sensor	fibaro	FGFS-101	z-wave	watertank full
water meter	kamstrup	multical21	wM-BUS	measure water usage
air conditioner	lunos	ego		
air conditioner control	fibaro	FGS224	z-wave	custom modification to include lunos egos into a z-wave system
smoke sensor	fibaro	FGSD002	z-wave	detecting smoke and fire in the microhouse
co-sensor	fibaro	FGCD001	z-wave	detecting co in the technical box
remote controller	Remotec Technology	ZRC-90	z-wave	toggling things
rgbw controller	fibaro	RGBW442	z-wave	ceiling LEDS
weather station	POPP	Z-weather	z-wave	outside conditions
lock	Yale	Doorman L3	Bluetooth	lock
lock Wi-Fi bridge	Yale	Connect Wi-Fi Bridge	Bluetooth / Wi-Fi	bridges the bluetooth lock to Wi-Fi
solar panel system	vicron	easysolar 48/5000/70-50 MPPT 250/100 GX + 2kpl multiplus II	Victron Dbus/wifi	solar panel system