



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ÄLYKÄS LED-VALAISTUS

TEKIJÄ: Timo Lassila

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Timo Lassila			
Työn nimi Älykäs LED-Valaistus			
Päiväys	21.05.2019	Sivumäärä/Liitteet	80/0
Ohjaaja(t) Arto Toppinen ja Pasi Lepistö			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu Oy			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia älykästä LED-valaistusta. Älykäs LED-valaistus muodostuu LED-valaisimista ja etäohjattavasta valaisinkohtaisesta ohjauksesta. LED-tekniikan etuja on energiatehokkuus ja vähäinen huollon tarve. Älykäs valaistus on tämän päivän ensisijainen kehityksen kohde valaistuksessa. Yhdistämällä ohjauksen ja ympäristön analysoinnin voidaan luoda automaattinen ennakoivan valaistusjärjestelmän. Opinnäytetyö on tehty osana DC-aluevalaistus hanketta. Hankkeessa tutkitaan DC-sähkön tuotantoa, varastointia ja siirtoa. Yksi projektin tavoitteista on tutkia Internet of Things-ratkaisujen toteutusta älykkäässä sähköverkossa ja mittatietojen keräämiseen.</p> <p>Tavoitteena on kehittää älykäs LED-valaistus järjestelmä korkeajännitteiselle DC-sähköjakelujärjestelmälle. Älykäs ohjaus on tarkoitus kehittää puiston kaltaisessa ympäristössä. Sen tavoitteena on luoda jatkokehitykseen potentiaalinen lopputulos. Älykkään ohjauksen tueksi tavoitteena on yhdistää ympäristön seuranta järjestelmä.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin ZigBee-verkkoon perustuvaa kaupallista valaisinkohtaisen ohjausjärjestelmää. Järjestelmän toimittaja on C2 Smartlight. Valaisinkohtaista ohjausta tutkittiin paikallisella ohjauksella ja etäohjauksella LED-valaisimiin. LED-valaisimet rakennettiin korkeajännitteiselle DC-sähkölle. Käytännössä tämä tarkoittaa LED-valaisimen komponenttien korvaamista DC-sähköjakelujärjestelmän kestäville komponenteilla. DC-sähköjakelujärjestelmä toi odottamattomia ilmiöitä valaisinkohtaisen ohjauksen toimintaan. Älykkään LED-valaistuksen keskipisteenä on Accukukko-järjestelmä. Accukukko on korkea jännitteinen DC-sähköjakelujärjestelmä, jossa on sisäänrakennettu valaisinkohtaisen ohjausjärjestelmän etäohjaus-laite. Etäohjaus laite mahdollistaa älykkäiden valaisimien ohjaamisen ympäri maailmaa internetin yli.</p> <p>Lopputuloksena on 12 LED-valaisimen muodostama toimiva älykkäiden LED-valaisimien verkko, joka on rakennettu Savonia-ammattikorkeakoulun Opistotien kampuksen välipihalle. Älykkään ohjauksen toteutuksessa ei saavutettu automaattisesti toimivaa ohjausjärjestelmää. Älykkään ohjauksen toteuttamisen onnistumisina on älykkään LED-valaistuksen toimintojen toteuttaminen sovelluskehityspakettiin</p>			
Avainsanat LED, älykäs, valaistus, valaisinkohtainen, ohjaus, ZigBee, DC, aluevalaistus			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Timo Lassila			
Title of Thesis Smart LED lighting			
Date	21 May 2019	Pages/Appendices	80/0
Supervisor(s) Mr. Arto Toppinen, Principal Lecturer, Mr. Pasi Lepistö, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University Of Applied Sciences			
Abstract			
<p>The purpose of this thesis was to research intelligent LED lighting. It includes LED luminaires and a remote-controlled wireless luminaire specific control system. The benefits of LED technology are energy efficiency and decreased maintenance need. Smart lighting is today's most popular development target. The thesis was made for the DC area lighting project. The project researched production, storage and transfer of the DC electricity. One purpose of the project is to research Internet of Things solutions for smart energy grids and collect a measurement data.</p> <p>The goal was to develop a smart LED lighting system for a high voltage direct current energy distribution system. The target for the control system of the smart LED lighting is to be smart. Smart control takes into account environmental conditions and its utilization rate. Tests and the development of the smart control system is meant to be done in a park like environment. The purpose is to create easy to use tools and a software development kit for further development.</p> <p>A commercial luminaire specific control system based on the ZigBee network was researched. The provider of the luminaire specific control system is C2 Smartlight. The luminaire specific control system was researched in a locally and remotely controller way. The luminaire specific control system were tested with LED luminaires. LED luminaires were modified to use high voltage direct current. The heart of the smart LED lighting is the Accukukko system. It generates high voltage direct current for LED luminaires. The remote-control device of the luminaire specific control system is built into the system. The device allows the control of the intelligent luminaires from around the world over the Internet.</p> <p>The result of the thesis is a working network of intelligent luminaires. It includes 12 intelligent LED luminaires. The network of intelligent luminaires was built on Savonia's Opistie Campus courtyard. The target for development of the smart control was not the reached. The control system utilizes required functions without an automatic background service. The control system is used with a software development kit for the C#-programming language.</p>			
Keywords LED, smart, lighting, luminaire-specific, control, ZigBee, DC, area lighting			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Lyhenteet ja määritelmät.....	8
1.2	Yhteistyökumppanit	9
2	DC-ALUEVALAISTUSHANKE	10
2.1	Accukukko-järjestelmä	11
2.2	Accukukko-järjestelmä osana älykästä LED-valaistusta	12
3	LED-TEKNIikka.....	13
3.1	Toimintaperiaate.....	13
3.2	Puolijohdemateriaalit ja niiden tuottama väri.....	14
3.3	Valkoisen valon tuottaminen	15
3.3.1	RGB-menetelmä	15
3.3.2	Fluoresenssi-menetelmä	16
3.4	Energiatehokkuus	18
4	WIREPASS	19
4.1	Hajautettu yhteys massiiviseen IoT-verkkoon	19
4.2	Joustava laitteisto riippuvainen arkkitehtuuri.....	19
4.3	Hajautettu älykkyyden.....	20
4.4	Mukautuva Multi-hop Mesh teknologia.....	20
4.5	Yhtenäiset laitteet.....	21
4.6	Skaalautuva.....	21
4.7	Luotettava	21
4.8	Tietoturvallisuus	21
4.9	Kehittyvä ja joustava.....	22
5	ZIGBEE.....	23
5.1	Sovelluskohde.....	23
5.2	ZigBee-verkon kehitys	24
5.3	ZigBee-verkon laitteet	24
5.4	ZigBee-verkon tuetut topologiat.....	25
5.4.1	Tähti	25
5.4.2	P2P	26
6	HALTIAN THINGSEEPod	28

6.1	Gateway-laitteen toiminta.....	29
6.2	ThingseePOD-anturin datan rakenne.....	30
7	SAVONIA MITTAUS-PALVELU	31
7.1	Turvallinen HTTPS-yhteys.....	31
7.2	Savonia Mittaus-palvelun mittauksen tunnistheet.....	32
7.3	Savonia Mittaus-palvelun mittauspaketti HTTP-rajapintaan	33
8	MICROSOFT AZURE-PILVILUSTA	34
8.1	Remote Monitoring-ratkaisun käyttämät palvelut pilvialustalla.....	35
8.1.1	IoT Hub.....	35
8.1.2	Stream Analytic.....	35
8.1.3	Event Hub	35
8.1.4	DocumentDB	35
8.1.5	Web App	35
8.1.6	Web Job.....	35
8.1.7	Blob-storage	36
8.1.8	Power BI	36
8.1.9	Azure AD	36
8.1.10	Logic App	36
8.2	Remote Monitoring-ratkaisun toimintaperiaate.....	37
9	YMPÄRISTÖN MONITOROINTI LANGATTOMALLA SENSORIVERKOLLA	38
9.1	Monitorointi sovellus Microsot Azure-pivialustaan	39
9.1.1	Monitorointi sovelluksen kehittäminen	39
9.1.2	Ympäristön monitoroinnin gateway-laitteen yhdistäminen IoT Hub-palveluun	41
10	LANGATON VALAISINKOHTAINEN OHJAUS.....	43
10.1	Toimintaperiaate.....	44
10.1.1	Itsenäinen valaisinverkko.....	46
10.2	Paikallishojaus	46
10.2.1	C2 Lumo Manager-Sovellus.....	47
10.3	Etäohjaus	48
10.3.1	Internet käyttöliittymä etäohjaukselle.....	49
10.3.2	Käyttöliittymän ohjausnäkyvä	50
10.3.3	Käyttöliittymän toiminnot.....	51

10.4	Etäohjauksen kokeelliset toiminnot	53
11	LED-VALAISIN VERKON RAKENTAMINEN.....	54
11.1	LED-valaisimen varustaminen valaisinkohtaisella ohjaimella	55
11.2	Valaisimen asennus.....	56
12	SCHMITT-LIIPASIN.....	57
12.1	Schmitt-liipaisin operaatiovahvistimella/komparaattorilla.....	58
13	ELEKTRONIIKKAAN PERUSTUVA PIIRILEVY RATKAISU VALON SAMMUTUKSEEN.	59
13.1	Piirilevyn prototyyppi.....	60
13.2	Piirilevyn tuotantoversio	62
13.2.1	KytKentäkaavion toteuttaminen.....	62
13.2.2	Piirilevyn suunnittelu kytkentäkaavion perusteella.	63
13.2.3	Piirilevyn johdotuksen suunnittelu	64
13.2.4	Piirilevyn komponenttien asentaminen.....	65
13.2.5	Piirilevyn lopputarkistus	65
14	OHJAUSKÄYTTÖLIITTYMÄ JYVÄSKYLÄN MESSUILLE	66
14.1	Ohjaukseen liittymään kirjautuminen.....	67
14.1.1	Kertakäyttöisten pääsykoodien toteutus.....	68
14.2	Ohjaukseen liittymän toiminnot.....	69
14.3	Ohjaukseen liittymän toimintojen toimintaperiaate	70
15	ÄLYKKÄÄN OHJAUKSEN TOTEUTTAMINEN	71
15.1	C# luokkakirjasto - sovelluskehityspaketti.....	72
15.2	C# konsolisovellus	74
16	LOPPUTULOS	76
17	POHDINTA.....	77
18	LÄHDELUETTELO.....	78

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty DC-aluevalaistus hankkeelle. Hankkeessa tutkitaan DC-sähkön tuotantoa, varastointia ja siirtoa. DC-sähköä käytetään LED-valaistusjärjestelmässä. DC-sähkö tuo opinnäytetyöhön erikoistuneita ratkaisuja fyysisiin tuotoksiin, kuten valaisimiin.

Opinnäytetyössä syvennytään älykkään LED-valaistuksen toimintaperiaatteeseen ja sen toimintaan käytännössä. LED-tekniikka on osa älykkään LED-valaistus tavoitetta vähentään valaistukseen kuluva energiaa. Nykyaikaista LED-tekniikkaa täydentää kehittynyt ohjaus. Valaisimien erillisohjaus kasvattaa potentiaalia tutkia mullistaa älykkään valaistuksen tulevaisuus. Langattomaan toimintaan ohjausratkaisu käyttää vapaalla 2.4 GHz taajuudella toimivaa ZigBee-verkkoa.

Erillisesti ohjattavien valaisimien ohjausjärjestelmään kutsutaan valaisinkohtaiseksi ohjausjärjestelmäksi. Valaisinkohtaisen ohjausjärjestelmän toimintoja on tavoitteena soveltaan ympäristön analysointia. Tieto ympäristöstä kerätään langattomalla anturijärjestelmällä. Valaisinohjausjärjestelmän toimittaja on C2 Smartlight.

Valaisinkohtaisen ohjausjärjestelmän toimintaa tutkitaan älykkäiden LED-valaisimien verkossa. Valaisimien verkko on rakennettu Savonia-ammattikorkeakoulun Opistotien kampuksen välipihalle. Valaisinkohtaisen ohjausjärjestelmä. Valaisinkohtaista ohjausjärjestelmää voi käyttää USB-laitteella tai etäohjattavalla keskitin laitteella. USB-laitetta käytetään paikallisesti tietokoneella erillisellä ohjelmalla. Keskitinlaite muodostaa yhteyden verkkoon mobiiliverkon välityksellä.

Älykkään ohjauksen toteuttamiseksi ohjausjärjestelmän toimittajan kanssa sovittiin erillisen rajapinnan käytöstä. Rajapinta mahdollistaa LED-valaisimien ohjelmoinnin suoraan internet yhteydellä. Rajapinta on tuonut mahdollisuuden kehittää älykkäälle ohjaukselle sovelluskehityspaketti. Sovelluskehityspakettia käyttämällä älykkään ohjauksen voi tuoda osaksi C#-sovelluksia. ASP.NET on internet sovellus, joka on kirjoitettu C#-ohjelmistokielellä.

1.1 Lyhenteet ja määritelmät

DC = Sähkövirran suunta ja voimakkuus pysyy vakiona. (Tasavirta) (Ylinen, 2011)

AC = Sähkövirran suunta vaihtuu ajan funktiona sinimuotoisesti. (Vaihtovirta) (Ylinen, 2011)

LED = Light Emitting Diode. Elektroniikan puolijohde komponentti, joka hohtaa infrapuna tai näkyvää valoa sähkövirralla. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998)

IoT = Internet of Things. IoT kattaa internettiin yhdistetyt laitteet yksinkertaisista sensoreista älypuhelimisiin ja puettaviin laitteisiin. (Burgess, 2018)

RGB = Punainen, vihreä ja sininen (Red, green, blue) (Photon startechology, 2019)

LPWAN = Internet of Things sovelluksiin suunnattu IoT-verkko. LPWAN-verkossa on ominaista pitkä kantama, hidas tiedonsiirto ja vähävirtainen suunnitelu. (Low Power Wide-Area Network). (WavIoT, 2019)

LR-WPAN = Low Rate Wireless Personal Area Network (IEEE, 2011)

PAN = Personal Area Network (IEEE, 2011)

P2P = Peer To Peer (IEEE, 2011)

SAS = Shared Access Signature.

HTTP = Hypertext Transfer Protocol on sovelluserroksen protokolla, jolla voi lähettää mediaa. Median tyyppinä on esimerkiksi kuva, ääni, video, teksti ja animaatiot. HTTP-protokollaan käytetään yleensä TCP/IP-protokollaan päällä. TCP/IP-protokollaa voi kuvailla kuljetuserroksena. (Mozilla, 2019)

HTTPS = HTTPS-protokolla muodostuu HTTP-protokollasta ja SSL-protokollasta. SSL-protokolla eli Secure Socket Layer käytetään datan salaamiseen internet palvelimen ja selaimen välillä. (Is It Safe To Use HTTPS, 2017)

MQTT = MQTT-protokolla on Internet of Things-laitteissa. Se on suunniteltu kevyeksi protokollaksi, joka noudattaa julkaisia/tilaaja viestien siirtoa. (MQTT, 2019)

JSON = JavaScript Object Notation on kevyt datan serialisointi formaatti. JSON-seriasointi on selkeä käyttäjille ja sitä on helppo lukea ja generoida tietokoneella. (JSON, 2019)

DALI = Digital Addressable Lighting interface-protokolla on tarkoitettu digitaaliseen valaistuksen ohjaamiseen. (Digital Illumination Interface Alliance, 2019)

TCP/IP = Internet Protocol siirtää pieniä paketteja verkon yli. IP-protokollaa käytetään monien internet protokollien kuljetuserroksena. (IBM, 2019)

Lineaarinen jänniteregulatori = Lineaarinen jänniteregulaattori integroitu piiri, joka muuntaa sisään-tulevan jännitteen vakaaksi jänniteeksi. (Texas Instrument, 2016)

MOSFET = Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor Eli metallioksidi-puolijohdekanav-atransistori. (ElectronicTutorials, 2019)

1.2 Yhteistyökumppanit



Kuva 1. DC-aluevalaistus hankkeen rahoittajat.

Kuvassa 1 on esitetty DC-aluevalaistus hankkeen rahoittajat. Rahoittajat ovat olleet mukana tukemassa kehitystä. Rahoittajia on Voimatel, Savon Voima, Kuopion kaupunki, Euroopan aluekehitysrahasto ja Pohjois-savon liitto.

2 DC-ALUEVALAISTUSHANKE

Opinnäytetyön toteutuksessa merkittävässä osassa on DC-aluevalaistushanke. Hankkeessa rakennettiin DC-sähkön jakelujärjestelmä, joka tuottaa, varastoi ja siirtää sitä käyttökohteisiin. Käyttökohteena on LED-tekniikalla toteutettu valaistusjärjestelmä, jota opinnäytetyössä kutsutaan nimellä älykäs LED-valaistus. (Savonia, 2018)

Hankkeen ideana on tutkia DC-sähkön varastointia, tuotantoa ja jakelua. Tutkinnan kohteena on DC-sähkön soveltuvuus rajattuun alueeseen kaupunkiin, kuten puistoon, pyöräteille ja rakennuksille. Tekniikkaa kokeillaan todellista tilannetta vastaavassa tilanteessa. (Savonia, 2018)

Isossa osassa hankkeessa on Internet of Things. IoT-tekniikan hyödyttämistä tutkitaan LED-valaistuksen lisäksi myös DC-sähköverkon älykkyydessä ja mittatiedon keruussa. Valaistuksen osalta hankkeessa tutkitaan potentiaalista palvelumallia kaupalliseen käyttöön. (Savonia, 2018)

Hankkeessa syntyi Accukukko-järjestelmä. Accukukko-järjestelmä DC-sähkönjakelu järjestelmä, joka tuottaa, varastoi ja siirtää käyttökohteisiin. Se voi käyttää ympäristöystävällistä uusiutuvaa energiaa, joka on tuotettu esimerkiksi aurinkon valosta aurinkokennoilla.

2.1 Accukukko-järjestelmä

Accukukko-järjestelmä hyödyntää tehokkaasti uusiutuvaa sähköntuotantoa. Uusiutuvan energian talteenotto on toteutettu järjestelmään kytketyillä aurinkopaneeleilla tai tuulivoimaloilla. Accukukko-järjestelmän pääpiirre on akustolla varustettu tasasähkön jakelujärjestelmä. Järjestelmä voi akuston varassa toimia saarekkeena ilman yleistä sähköverkkoa. (Savonia-ammattikorkeakoulu, 2019)



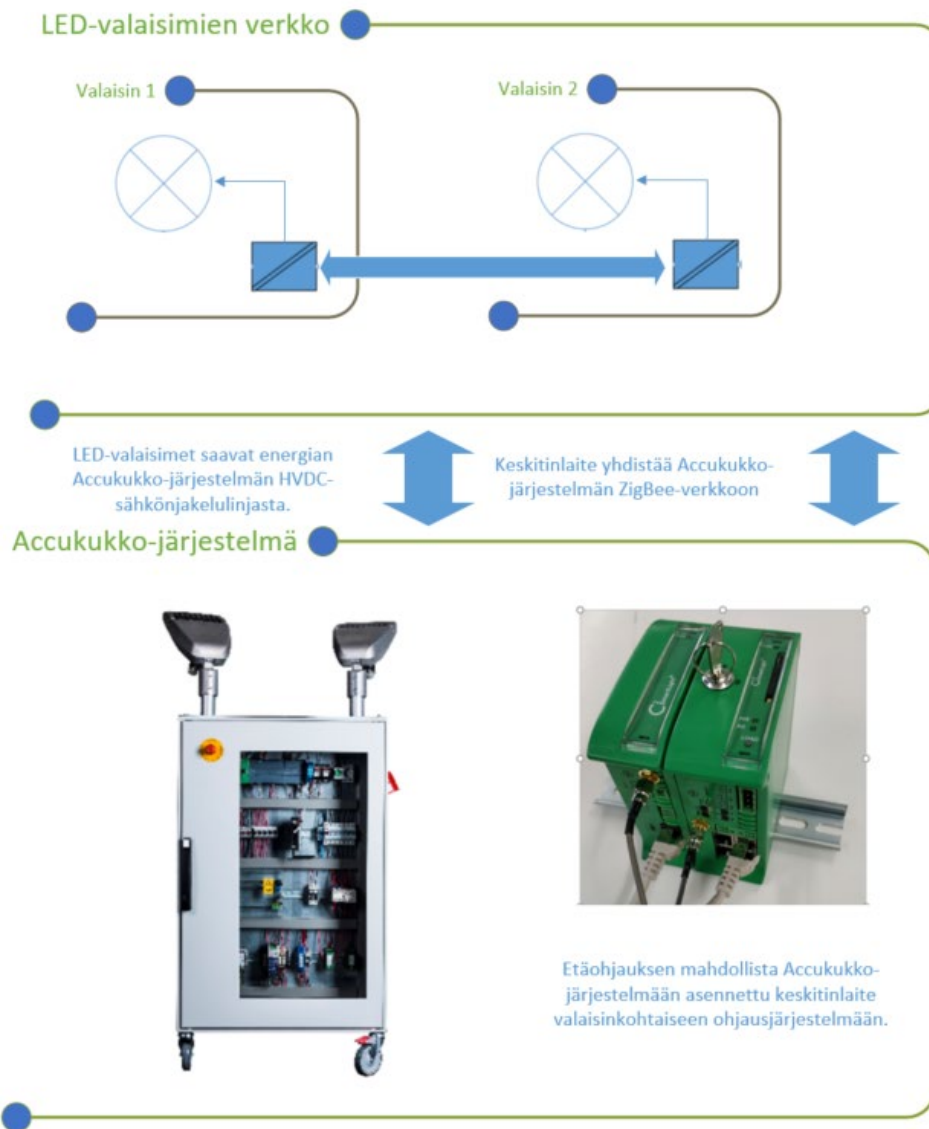
Kuva 2. Accukukko-järjestelmä. (Savonia-ammattikorkeakoulu, 2019)

Kuvassa 2 on kuvattu Accukukko-järjestelmä. Sen päälle on asennettu kaksi LED-valaisinta. Accukukko-järjestelmän voi kytkeä yleiseen sähköverkkoon. Järjestelmä kytketään yleiseen sähköverkkoon AC/DC suuntaajalla. AC/DC-suuntaja varmistaa järjestelmän toiminnan käyttämällä yleisen sähköverkon energiaa. Järjestelmän tuottamaa energiaa voi myös syöttää yleiseen sähköverkkoon. Accukukko-järjestelmän ideanan on hyödyntää tasasähköä kaikissa sen vaiheissa, jolloin häviöt sähkönsiirrossa voidaan minimoida. (Savonia-ammattikorkeakoulu, 2019)

Tasasähkön siirron kokeilun kohteena on LED-valaistus. Accukukko-järjestelmän prototyyppilaitteeseen on asennettu kaksi LED-valaisinta kiinteästi. LED-valaisimet ovat kytketty langattomaan valaisin kohtaiseen ohjaukseen.

2.2 Accukukko-järjestelmä osana älykästä LED-valaistusta

Accukukko-järjestelmään on asennettu valaisinkohtaisen ohjausjärjestelmän keskitinlaite. Keskitinlaitteella Accukukko-järjestelmä välittää ohjauksen LED-valaisimille. Tarkemmin keskitinlaitteen toiminnasta on kuvattu [valaisinkohtaisen ohjauksen kappaleessa](#).



Kuva 3. Accukukko-järjestelmän toiminta osana älykästä LED-valaistusta.

Kuvassa 3 on kuvattu Accukukko-järjestelmän toiminta älykkäässä LED-valaistuksessa. Accukukko-järjestelmään on asennettu valaisinkohtaisen ohjausjärjestelmän keskitinlaite. Keskitinlaitteella Accukukko-järjestelmällä voidaan etäohjata LED-valaisimia. Keskitinlaite on yhdistetty testipalvelimelle. Testipalvelimeen yhdistettyjä laitteita ohjataan kuljetus kerroksen TCP/IP-protokollaan päällä toimivalla sovelluskerroksessa HTTP-protokollalla. Tarkemmin testipalvelin toiminnoista on kuvattu [etäohjauksen kokeellisissa toiminnoissa](#).

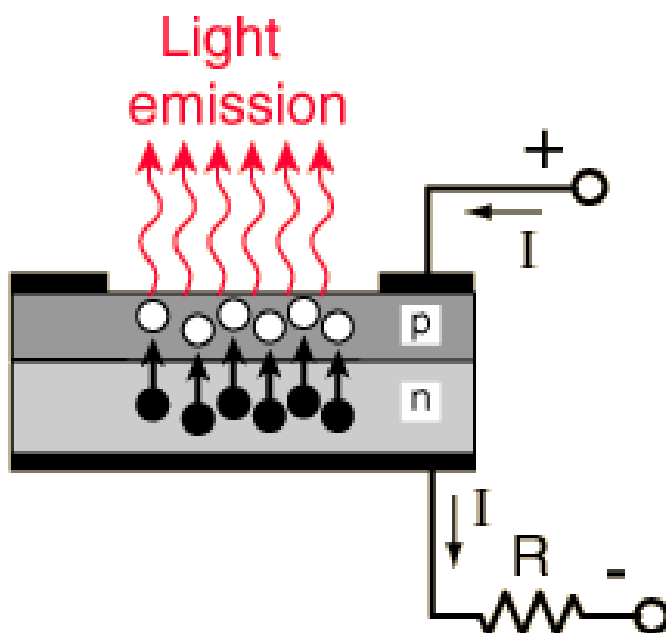
LED-valaisimet on kytketty Accukukko-järjestelmän korkeajännitteiseen DC-sähkön jakelujärjestelmään.

3 LED-TEKNIikka

LED eli light emitting diode on puolijohdelaite, joka säteilee infrapuna- tai näkyvää valoa sähkövirran johtaessa sen läpi. Näkyvän valon LED-valoja käytetään monissa elektroniikan laitteissa, autoteollisuudessa jarruvaloina, ilmoitustauluissa ja kylteissä kirjainnumeerisena näyttönä tai jopa väriellisessä posterissa. (The Editors of Encyclopaedia Britannica , 1998)

3.1 Toimintaperiaate

LED-tekniikka perustuu puolijohde seoksiin, joiden ominaisuutena on elektroluminesenssi-ilmiö. Elektroluminesenssi on optinen ja sähköinen ilmiö, jossa puolijohde seoksen läpi johdetun sähköön tai vahvan magneettikentän seuraksena puolijohde hohtaa valoa. (Koncar, 2016)



Kuva 4. LED-tekniikan toiminta perustuu elektroluminesenssi-ilmiöön. (HyperPhysics, 2019)

Kuvassa 4 on esitetty tarkemmin elektroluminesenssi-ilmiötä. Elektroluminesenssi-ilmiössä vahvan magneettikentän tai sähkövirran aiheuttaman voiman vaikutuksesta puolijohdeseoksessa olevat elektronit hakeutuvat aukkoihin puolijohdeseoksessa. Vapaan elektronin ja aukon kohdatessa elektroni vapauttaa energian valona puolijohdteesta. (HyperPhysics, 2019)

Puolijohdemateriaalit kuuluvat niin kutsuttuun puolijohdeiden ryhmään 3 – 5. Vaihtamalla puolijohdeiden täsmällistä koostumusta saadaan puolijohdeiden säteilemää väriä aaltopituutta vaihdettua. (The Editors of Encyclopaedia Britannica , 1998)

3.2 Puolijohdemateriaalit ja niiden tuottama väri

Väri	Aallonpituus [nm]	Jännite [V]	Puolijohdemateriaali
Infrapuna	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1,9$	Galliumarseeni (GaAs) Alumiinigalliumarseeni (AlGaAs)
Punainen	$610 < \lambda < 760$	$1,63 < \Delta V < 2,03$	Alumiinigalliumarseeni (AlGaAs) Galliumarseenifosfaatti (GaAsP) Alumiinigalliumindiumfosfaatti (AlGaInP) Gallium(III)fosfaatti (GaP)
Oranssi	$590 < \lambda < 610$	$2,03 < \Delta V < 2,10$	Galliumarseenifosfaatti (GaAsP) Alumiinigalliumindiumfosfaatti (AlGaInP) Gallium(III)fosfaatti (GaP)
Keltainen	$570 < \lambda < 590$	$2,10 < \Delta V < 2,18$	Galliumarseenifosfaatti (GaAsP) Alumiinigalliumindiumfosfaatti (AlGaInP) Gallium(III)fosfaatti (GaP)
Vihreä	$500 < \lambda < 570$	$2,18 < \Delta V < 4,0$	Indiumgalliumnitridi (InGaN) / Gallium(III)nitridi (GaN) Gallium(III)fosfaatti (GaP) Alumiinigalliumindiumfosfaatti (AlGaInP) Alumiinigalliumfosfaatti (AlGaP)
Sininen	$450 < \lambda < 500$	$2,48 < \Delta V < 3,7$	Sinkkiseleeni (ZnSe) Indiumgalliumnitridi (InGaN) Piikarbidi (SiC) substraattina Pii (Si) — (kehitteillä)
Violetti	$400 < \lambda < 450$	$2,76 < \Delta V < 4,0$	Indiumgalliumnitridi (InGaN)
Purppura	monta eri tyyppiä	$2,48 < \Delta V < 3,7$	Tupla sini/puna -LED, sininen punaisella fosforipäällysteellä, valkoinen LED purppuramuovilla
Ultravioletti	$\lambda < 400$	$3,1 < \Delta V < 4,4$	timantti (C) Alumiiniinitridi (AlN) Alumiinigalliumnitridi (AlGaN) Alumiinigalliumindiumnitridi (AlGaInN) — (alle 210 nm ^[14])

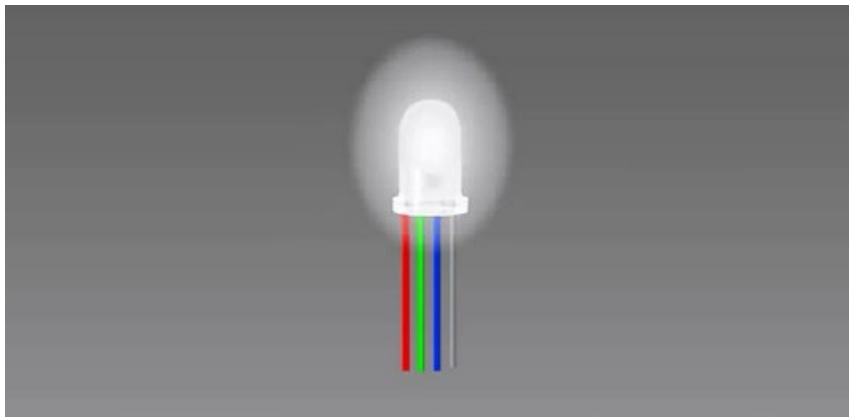
Kuva 5. Puolijohdemateriaaleja LEDssä. (Wikipedia, 2018)

Kuvassa 5 on esitetty puolijohdemateriaalien yhdistelmien säteilemän valon värit aallonpituuksina. LED-valot säteilevät on näkyvää valoa 400 – 700 nanometrin aallonpituudella. LED-valo voi säteillä valoa aallonpituuksilla, joka ei ole näkyvää. Tällaisia on infrapuna ja ultravioletti.

Valon kirkkaus on verrannollinen käytettyyn tehoon. Puolijohdemateriaalin yhdistelmän ominaisuutena on kynnysjännite, jonka yläpuolella materiaali johtaa sähköä. Kynnysjännite on Jännite sarakkeessa. Jännitteen yksikkö on voltti. (The Editors of Encyclopaedia Britannica , 1998)

3.3 Valkoisen valon tuottaminen

LED-tekniikalla ei suoraan pysty tuottamaan valkoista väriä vielä, koska yksittäisen led-valon tuottaman valon aallon pituuden väli on kapea. Valkoista väriä voidaan tuottaa yhdistämällä kolmea pääväriä tai käyttämällä hyväksi fluoresenssi-ilmiötä. (Philips, 2019)

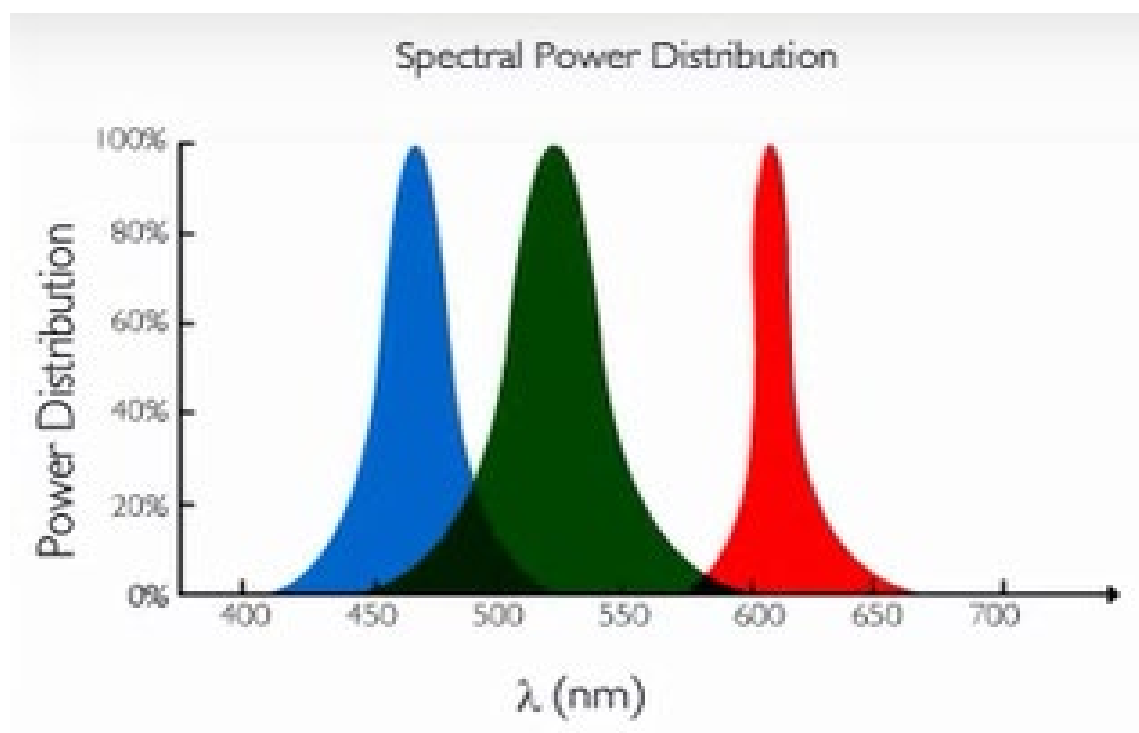


Kuva 6. Punainen, vihreä ja sininen tuottaa valkoista väriä. (Philips, 2019)

Kuvassa 6 on esitetty LED-valo, jossa on RGB-värit yhdessä. Punaisen, vihreän ja sinisen värin yhdistelmä näkyy valkoisena. Menetelmään kutsutaan RGB-nimellä.

3.3.1 RGB-menetelmä

Valkoinen väri muodostuu yhdistämällä punaista, vihreää ja sinistä. Valkoisen värin sävyä voi muuttaa kolmen päävärin intensiteettiä säätämällä. (Philips, 2019)



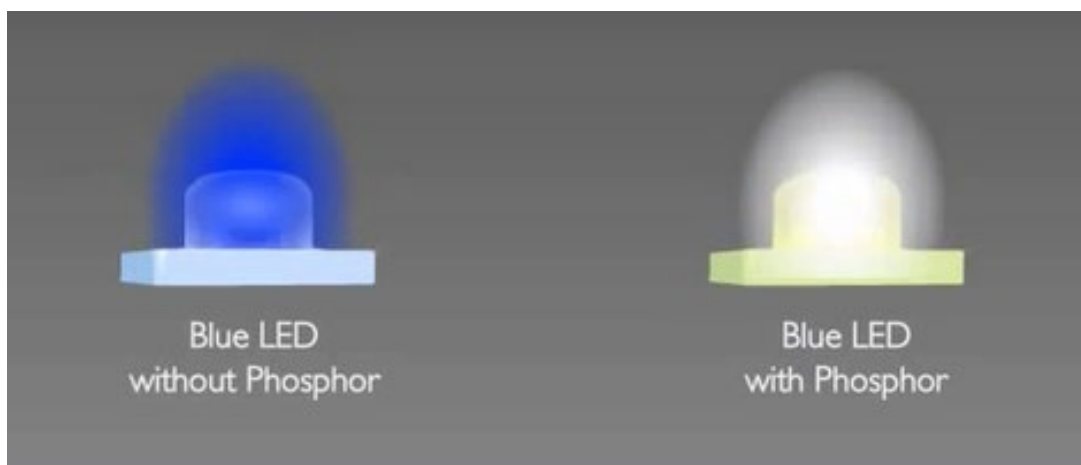
Kuva 7. Kolmella päävärillä toteutettu valkoisen värin aallonpituudet. (Philips, 2019)

Kuvassa 7 on esitetty RGB-menetelmällä tuotettun valkoisen värin aallonpituudet. Punaisen, vihreän ja sinisen LED-valon yhdistelmä yhdessä moduulissa RGB-värimallin mukaan, valkoinen valo tuotetaan sopivalla punaisen, vihreän ja sinisen valon sekoituksella. RGB-valkoinen menetelmä tuottaa valkoista valoa yhdistämällä tulostuksen punaisesta, vihreästä ja sinisestä LED-valosta. (Photon startechnology, 2019)

Tämä on additiivinen värimenetelmä, joka on usein vastakkainen ihmisille. Ihmiselle luonnollisessa värimenetelmässä pigmentit, väriaineet, musteet ja muut aineet heijastavat värin ympäröivästä valosta. Additiivisessa värimenetelmässä silmä havaitsee säteilevän värin, eikä se ole valon omaisuutta. Keltaisen valon aallonpituus on noin 580 nm, jonka välillä on suuri ero punaiseen ja vihreään valoon. Molemmat kuitenkin stimuloivat silmiämme samalla tavalla, joten emme havaitse tätä eroa. (Photon startechnology, 2019)

RGB-menetelmän valkoinen antaa sinulle valon tarkan värin ja tekee väristä erottuvan. RGB-menetelmän valkoinen valo on laitteisto intensiivistä, koska se vaatii kolme eriväristä LED-valoa. RGB-menetelmän heikkoitena on pastellivärien toistuminen luonnottomasti, mikä on suurelta osin vastuussa RGB-menetelmän valkoisen valon huonosta värinmuodostusindeksistä. (Photon startechnology, 2019)

3.3.2 Fluoresenssi-menetelmä



Kuva 8. fluoresenssi-ilmiö fosforipinnoitteella. (Philips, 2019)

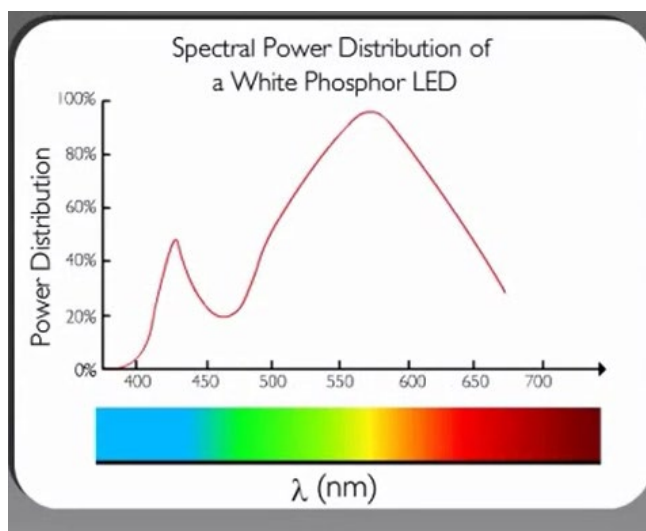
Kuvassa 8 on kuvattu fluoresenssi-ilmiön vaikutus siniseen valoon. Sininen valo läpäisee fosforipinnoitteen, josta se muuttuu valkoiseksi väriksi. Fosfori-valkoinen menetelmä tuottaa valkoista valoa yhdellä LED-valolla yhdistämällä lyhyen aallonpituuden LED-valon, kuten sinisen tai UV:n, ja keltaisen fosforipinnoitteen. LED-valossa syntyvät siniset tai UV-fotonit joko kulkevat fosforikerroksen läpi ilman muutoksia tai ne muunnetaan keltaisiksi fotoneiksi fosforikerroksessa. Sinisten ja keltaisten fotonien yhdistelmät muodostavat valkoisen valon. (Photon startechnology, 2019)

Fosforivalkoinen-metelmän väri tarjoaa paljon paremman värin, kuin RGB-menetelmän valkoinen väri. Väri on samankaltainen fluoresoivien valonlähteiden kanssa. Fosforivalkoinen valo on myös paljon

tehokkaampi kuin RGB-menetelmän valkoinen. Fosforivalkoinen on yleisesti käytetty menetelmä valkoisen valon tuottamiseksi LED-valoilla, koska se on tuottaa enemmän valoa samalla määrällä energiaa. Vaikka värinmuodostus on hyvä pastelliväreissä, spektritiheys ei ole lähellä päivänvaloa, ja kyläisempien värien, kuten punaisen muuttaminen aiheuttaa ongelmia. (Photon startechnology, 2019)

Tyypillisessä fosforivalkoisessa valmistusprosessissa LED-elementin pinnalle kerrostetaan fosforipinnoite. LED-valon tuottaman valkoisen valon tarkka varjo- tai värilämpötila määräytyy sinisen LED-valon hallitsevan aallonpituuden ja fosforipinnoitteen koostumuksen perusteella. (Photon startechnology, 2019)

Fosforipinnoitteen paksuus aiheuttaa vaihtelua LED-valon värilämpötilassa. Valmistajat pyrkivät minimoimaan väri vaihtelut säätämällä fosforikerroksen paksuutta ja koostumusta valmistuksen aikana. Ajan myötä sinisen valon tuotto muuttuu ja keltainen fosforipinnoite kuluu. Tämän seurauksena säteilevä valo muuttaa sen tuottamaa väriä. Se tuottaa myös odottamattomia värejä, jos laitetta käytetään eri virta- tai käyttölämpötilassa. (Photon startechnology, 2019)

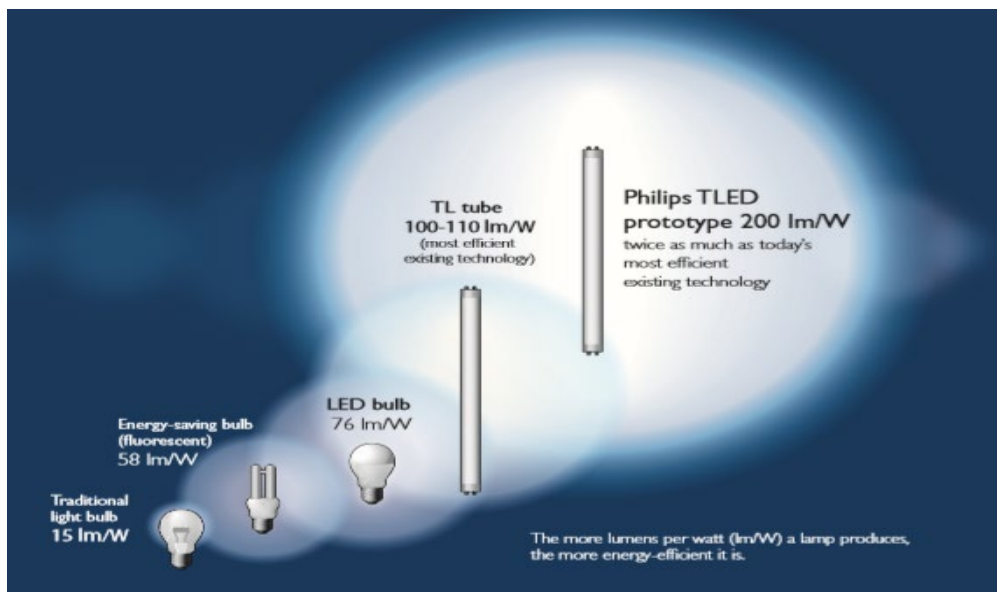


Kuva 9. fosforipinnoitteen vaikutus sinisen ledin valon spektriin. (Philips, 2019)

Kuvassa 9 on kuvattu fluoresenssi ilmiöön perustuvan menetelmän tuottamaa valon aallonpituuden spektriä. Spektrissä käytetty alkuperäinen sininen valo 400 – 450 nm aallon pituuksilla on heikentynyt fosforipinnoitteen läpi menemisestä. Fosforipinnoite on muuttanut osan sinisen LED-valon aallonpituuksista leveäksi piikiksi keltaista valoa 500 – 670 nm aallonpituuden välille.

3.4 Energiatohokkuus

Valonlähteiden tehokkuutta mitataan Lumeneina per watti (lm/W). Lumenia per watti viittaa energia-
tehokkuuteen valaistuksessa: kuinka paljon näkyvää valoa saa watilla sähköenergiaa. (Philips, 2019)



Kuva 10. Valaistusteknologioiden energiatahokkuuksia eri valonlähteissä. (Philips, 2019)

Kuvassa 10 on esitetty erilaisten valaistus teknologioiden energiatahokkuuksia. LED-tekniikkaa on kehitetty paljon ja on tänäpäivänä energiatahokkain valinta valaistukseen. Tehokkaimillaan Dubaihin on kehitetty LED-valo, jonka energia tehokkuus on 200 lm/W. Perinteiseen hehkulamppuun verrattuna energiatahokkuus on yli 10 kertainen. Myös loisteputkiin verrattuna LED on ohittanut energia tehokkuudellaan ja käytetään korvamaan vanhoja loisteputkia. LED-tekniikkaa käytetään vähentämään valaistuksessa kuluva energiaa.

4 WIREPASS

Wirepas on perustettu vuonna 2010. Wirepas sai alkunsa Spinoffin Tampereen teknillisestä yliopistosta. Pääkonttori ja tuotekehitys on sijoitettu Suomeen Tampereelle. Wirepasin kehityksessä tärkeässä osassa on ollut Tekesin ja Team Finland -verkoston toimijoilta tuotekehitykseen ja ovien avaamiseen kansainvälisille markkinoille. (Nordgren, 2019)



Kuva 11. Wirepasin kehittämä Pino-protokolla. (Nordgren, 2019)

Kuvassa 11 on Pino-protokollan rakenne kuvattu. Vihreä taso edustaa radiopiiriä. Tarkemmasta rakenteesta ei ole tietoa. Wirepas on kehittänyt Pino-protokollan. Pino-protokollalla ratkaistaan esineiden internetin (IoT) laitteiden kytkeminen langattomaan IoT-verkkoon. Langattomissa IoT-verkoissa on haasteena luotettavan yhteyden muodostaminen sensorilta pilvipalveluun. Pino-protokolla ratkaisee ongelman ilman olemassa olevaa infrastruktuureja, kuten tukiasemia ja olemassa olevia verkkoja. Pino on integroitu suoraan radiopiirille, joten jokainen Wirepas-laite voi muodostaa verkon. (Nordgren, 2019)

4.1 Hajautettu yhteys massiiviseen IoT-verkkoon

Wirepas tarjoaa sovellus ratkaisun, jota voidaan käyttää monissa saatavilla olevista radio laitteistoissa ja langattomissa moduuleissa. Wirepas Mesh on tuettu monissa standardi radio SoC-piireissä (System on Chip). (Wirepas, 2019)

4.2 Joustava laitteisto riippuvainen arkkitehtuuri

Wirepas on ohjelmisto protokolla, joka voidaan ottaa käyttöön valitsemalla haluttu radiopiirisarja ja taajuus sovellutukseen. Wirepas Mesh toimii monissa saatavilla olevissa SOC-piireissä ja moduuleissa. Toimintaparametrejä voi muuttaa tiedonsiirron, viiveen, toimintaetäisyyden ja virran kulutuksen

kompromissinä. Älykkyyden ollessa rakennettu Wirepas Mesh ohjelmiston fyysiseen kerrokseen eli radion ja toimintataajuuden voi valita vapaasti vaatimuksien mukaisesti. (Wikipedia, 2019)

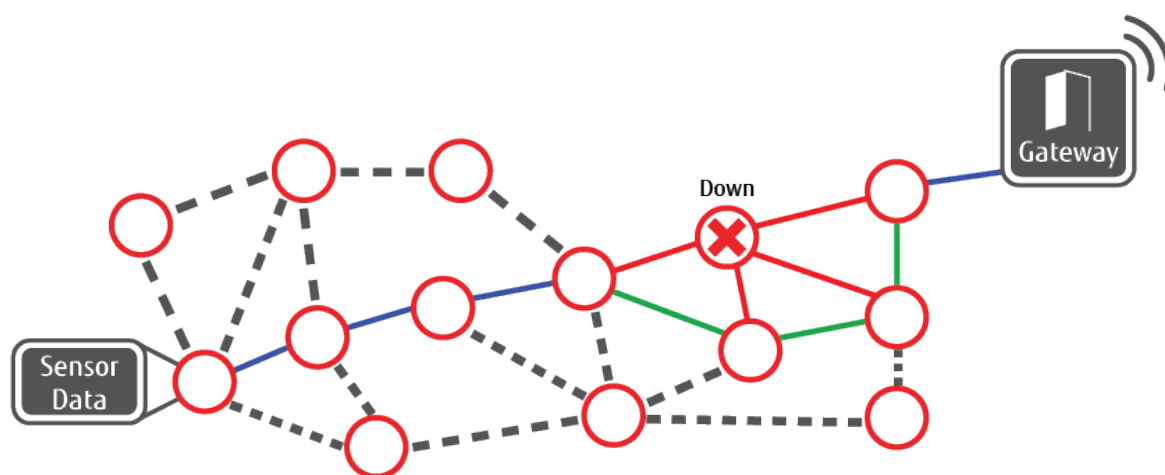
4.3 Hajautettu älykkyys

Wirepas Mesh verkon kaikki älykkyys on sen verkossa. Laitteet valitsevat parhaat toimenpiteet itsenäisesti valitsemalla, kuinka parhaiten käyttää paikallisesti käytössä olevaa radion spektriä ja käyttämään energiaa. Tällä toteutuksella ei tarvitse olla verkon keskitinlaitetta. Paikallinen päätöksen teko varmittaa laitteiden aina toimivan optimaalisella tavalla ja sallien Wirepas Mesh verkon skaalautuvan massiivisiin IoT-sovelluksiin. Wirepas Mesh käyttää synkronoitua aikaa ja taajuuden jakoa (TDMA ja FDMA). (Wirepas, 2019)

Laitteet yhdistävät langittomaan laitteeseen synkronoisesti käyttäen yhdessä valitun ajan ja kanavat kommunikaatioon. Kaikkia saatavilla olevia kanavia valitutta taajuusalueella voidaan käyttää. Kun kaksi laitetta haluaa kommunikoida toistensa kanssa, He tietävät kanavan ja täsmällisen ajan lähettää ja vastaavanottaa. Tällä tavalla tarpeeton radion päälläolo, kuten ylimääräinen kuuntelu, toimeton kuuntelu ja verkon työrmäykset ovat poistettu. (Wikipedia, 2019)

4.4 Mukautuva Multi-hop Mesh teknologia

Laitteet voidaan siirtää dataa monien hyppyjen muiden Wirepas Mesh laitteiden kautta. Verkon topologia on optimisoitu yhtenäen ja muokautumaan muutoksiin ympäristössä ja verkossa. Jokaiselle laitteelle on useita reititys vaihtoehtoja, sekä useita yhteyksikäytäviä voi käyttää samassa verkossa. Useita yhteyden suunnat ovat tuettuja: pilvestä/pilveen ja laitteelta laitteeseen verkossa. (Wirepas, 2019)



Kuva 12. Sensori datan kulkeminen verkon läpi. (Fujitsu, 2018)

Kuvassa 12 on noodilta lähetetty sensori data kulkeaa mukautuvalla Multi-Hop tekniikalla luotettavasti Gateway-laitteeseen sinistä reittiä. Punaisella ristillä merkitty laite on viallinen. Laite Wirepas-verkossa huomaa viereisen noodin virhetilan. Verkko optimoituu viallisen noodin tuomiin muutoksiin. Optimoitu verkko löytää vihreällä merkityn vaihtoehdoisen reitin välittää sensori data gateway-laitteelle.

4.5 Yhtenäiset laitteet

Laitteet valitsevat roolinsa tilanteen mukaisesti verkossa. Tämä tarkoittaa jokaisen laitteen olevan mahdollinen reitityspiste datan välitykselle. Käyttäjän ei tarvitse määrittää laitteiden roolia, tämä on tehty automaattisesti riippuen mikä on optimaalinen topologia sillä hetkellä. Wirepas Mesh verkossa ei ole kantoasemia, reitittämiä ja muita laitteita liittyen verkon infrastruktuuriin. (Wirepas, 2019)

4.6 Skaalautuva

Käytössä voi olla tuhansia laitteita huoneessa ilman häiriötä automaattisen ja tehokkaan radio resursien käytön vuoksi. Myös kahden laitteen välinen matka voi olla useita kilometrejä. Maantieteellinen kokonais kattavuus verkolla on rajaton, koska jokalainen laite toimii autonomisena osana verkkoa ja voi toimia reitittimen roolissa. (Wirepas, 2019)

Wirepas Mesh verkolla jopa vaikeissa paikoissa löytyy verkko. Se on toimintavarma kellarissa ja syvällä sisällä, koska laitteilla on useita eri vaihtoehtoja yhdistää Mesh verkkoon. (Wirepas, 2019)

4.7 Luotettava

Luotettavuus on tärkeää IoT-verkossa. Wirepas Mesh verkolla ei ole yksittäistä pettävää pistettä, koska kaikki laitteet ovat yhtenäisiä ja voivat välittää dataa tarvittaessa. Wirepas-laite reagoi ympäristöön ja fyysiseen muutokseen automaattisesti. (Wirepas, 2019)

Wirepas yhteys on vankka häiriötä vastaan. Käyttöpaikassa voi olla useita erilaisia langattomia järjestelmiä. Laitteet Wirepas yhteydellä valitsee paikallisesti parhaat kanavat toimintaan minimoidakseen häiriön muista järjestelmistä. Viestin kadotessa se lähetetään uudelleen, kunnes sen vastaanotto on varmistettu. (Wirepas, 2019)

4.8 Tietoturvallisuus

Wirepas Mesh takaa viestien olevan suojattu eikä niiden sisältöä voi muuttaa. Käyttäjälle kuuluu yksityisoikeus käyttää dataa. (Wirepas, 2019)

Turvallisuus on tärkeimpiä vaatimuksia IoT-laite verkossa. Wirepas Mesh tuo turvallisuuden osana Pino protokollaa, joka on teollisuuden standardeille taataakseen viestien koskemattomuuden ja aitouden, viestien luottamuksellisuuden, toiston suojaus, noodin autentikointi, pääsyn hallinta verkkoon. (Wirepas, 2019)

Jokainen on salattu AES-128 laskuri moodissa. Viesteihin on lisätty OMAC1 viestien koskemattomuuskoodi (MIC) toisto ja mies keskellä hyökkäyksien välttämiseksi. Laite ilman oikeaa salaus ja autentikointi avainparia ei voi liittyä verkkoon. (Wirepas, 2019)

4.9 Kehittyvä ja joustava

Wirepas Mesh on jatkuvastu kehittyvä, jonka uudet parannukset aktiivisesti tulevat mukaan tuotteisiin. Tämä mahdollistaa uusien käyttökohteiden tuen teollisuuden IoT-laitteen potentiaalisen pitkän eliniän. Uudet ominaisuudet voi ottaa käyttöön käyttämällä tehokasta ja turvallista päivitys prosessia langattomasti. (Wirepas, 2019)

Laitteiden suorittamien toimintojen määrän päättää laite itsenäisesti, joten toimitojen määrää ei tarvitse huomioida kehityksen aikana. Tämä joustavuus mahdollistaa jokaisen laitteen tasapainon tiedonsiirron, viiveen ja virran kulutuksen kesken täyttämään sovelluksen tarpeet. (Wirepas, 2019)

5 ZIGBEE

ZigBee-tekniologiassa on kaksi tärkeintä syytä sen menestykseen. ZigBee-tekniologiassa on mahdollista yhdistää suuri määrä laitteita yhdeksi isoksi verkoksi. Lisäksi ZigBee-tekniologia on energiatehokas ja pieni tehoinen yhteys. ZigBee-tekniologia käyttää maailmanlaajuisesti linsessi vapaata 2,4 GHz taajuusalueita ja sijainnin mukaan 868MHz (EU) tai 902 MHz (Muu maailma). (IEEE, 2011) Näitä taajuusalueita on käytetty, koska langattomat sovellukset mahdollistavat korkeatasoisen protokollan standardisoinnin edullisille, tehokkaille ja pienitehoisille radioille, jotka perustuvat IEEE 802.15.4 standardiin. (Serhat, 2011)

IEEE 802.15.4 standardi on luotu pieneen tiedonsiirtoon henkilökohtaisessa verkossa (LR-WPAN) ja se määrittää ZigBee-laitteen fyysisen kerroksen ja MAC-kerroksen (Media Access Content). (Serhat, 2011) Standardi tarjoaa yksinkertaisen, edullisen, vähä virtaisen ja pienen tiedonsiirron langattomiin yhteyksiin edullisilla laitteilla. Pieni tiedonsiirto on tarpeeksi (250 kilotavua / sekunnissa) toimiakseen ratkaisussa, mutta on myös skaalattavissa alaspäin (20 kilotavua / sekunnissa tai vähemmän) langattomaan kommunikointiin. (IEEE, 2011)

5.1 Sovelluskohde



Kuva 13. Valaisinkohtaisen ohjain käyttää ZigBee-yhteyttä.

Kuvassa 13 on kuvattu valaisinkohtainen ohjain. Ohjain muodostaa MESH-verkon käyttäen P2P-topologiaa verkon muodostuksessa. Valaisinverkon liikenne soveltuu pieneen tiedonsiirtoon tarkoitettu ZigBee-yhteydelle. ZigBee-yhteydellä valaisinkohtaisesta ohjauksesta on saatu langaton tiedonsiirto ja edullinen toteutus.

5.2 ZigBee-verkon kehitys

ZigBeen kehitys alkoi huomattua WiFi ja Bluetooth verkon olevan puutteellisia joihinkin käyttötarkoituksiin, joten vuonna 1998 päätettiin kehittää ZigBeen kaltainen verkko. Oikeastaan todettiin tarve itse organisoituvalle verkolle digitaalisessa radioverkossa. ZigBeen suurena tukijana olevan Philips semiconductors lopetti ZigBeen kehittämisen tukemisen, kuitenkin Philips lighting jatkoi jäsenenä ZigBee allianssissa johtoryhmässä. Virallisesti ZigBee-allianssi julkisti tulonsa vuonna 2004, jolloin sillä oli yli 100 jäsen yritystä melkein ympäri maailmaa. (Serhat, 2011)

ZigBeen määrittely hyväksyttiin joulukuussa 2014, joka nimettiin ZigBee 2004 määrittelyksi. Hyväksymisen jälkeen sen julkinen saatavuus julkistettiin kesäkuussa 2005. Syyskuussa 2006 määrittelmä julkaistiin ZigBee allianssen jäsenille. Tämän kehityksen jälkeen vuoden 2007 lopussa tuli ZigBee PRO määrittelmä, joka sisältää parannetun ZigBee määrittelyksen. (Serhat, 2011)

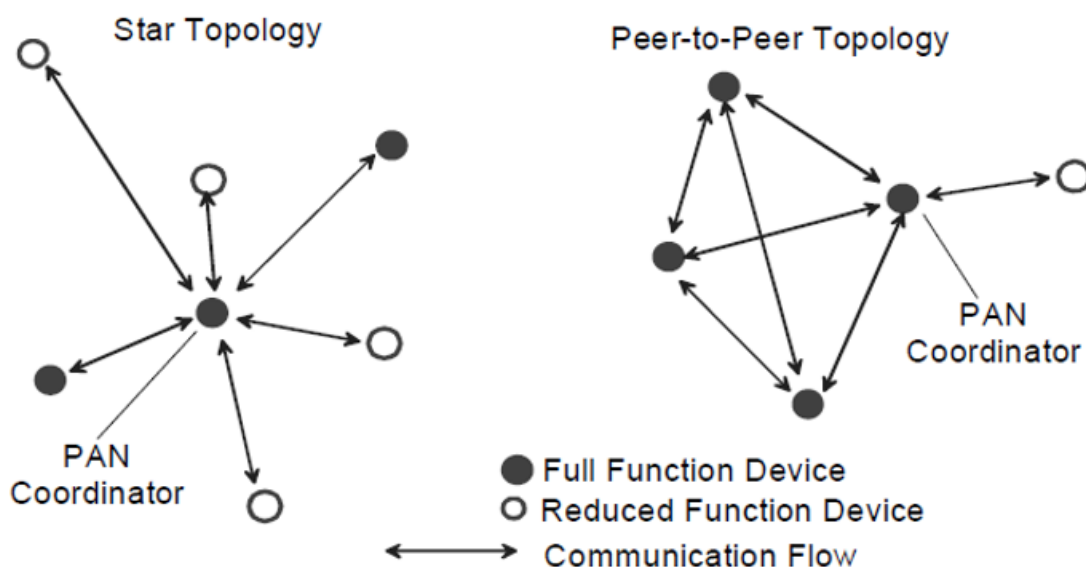
5.3 ZigBee-verkon laitteet

IEEE 802.15.4 standardi määrittää kaksi eri laitetta, jotka voivat liittyä verkkoon. Täyden toiminnon laite (full-function device (FFD)) ja rajoitetun toiminnon laite (reduced-function device (RFD)). Täyden toiminnon laite pystyy toimimaan PAN-koordinaattorina tai koordinaattorina. Rajoitetun toiminnon laite ei pysty toimimaan PAN-koordinaattorina tai koordinaattorina. Rajoitetun toiminnon laite on tarkoitettu sovelluksiin, jotka ovat äärimmäisen yksinkertaisia, kuten valokytkin tai passiivinen infrapuna sensori. Sen ei tarvitse lähettää paljoa dataa ja on vain tekemisissä yksittäisen FFD-laitteen kanssa, joten RFD-laite tarvitsee vain vähän resursseja ja muistia. (IEEE, 2011)

IEEE 802.15.4 standardin mukainen LR-WPAN-verkko muodostuu useasta osasta. Yksinkertainen osa verkkoa on laite. Kaksi tai useampi kommunikoiva laite samalla fyysisellä kanavalla muodostaa WPAN-verkon. Kuitenkin vähintään yhden täytyy olla täyden toiminnon laite, joka toimii PAN-koordinaattorina. (IEEE, 2011)

Hyvin määriteltyjä kantavuusalueita ei esiinny langattomilla laitteilla, koska signaalin leviäminen on vaihtelevaa ja epävarmaa. Pienet muutokset sijainnissa tai suunta muutos monesti vaikuttaa radikaalisti signaalin voimakkuuteen tai yhteyden laatuun. Nämä efektit vaikuttavat oli laite kiinteä tai liikkuva, kun liikkuvat objektit vaikuttavat signaalin leviämiseen. (IEEE, 2011)

5.4 ZigBee-verkon tuetut topologiat



Kuva 14. IEEE 802.15.4 standardin määrittelemät verkon tyypit ZigBee-yhteydelle. (IEEE, 2011)

IEEE 802.15.4 standardi määrittää verkon toimivan kahdella erilaisella topologialla: tähti tai laitteelta laitteelle (P2P). Kuvassa 14 on verkon tuetut topologiat kuvattu.

5.4.1 Tähti

Tähti topologiassa kommunikaatio muodostuu laitteiden ja yhden keskitetyn ohjaimen välille, jota kutsutaan PAN-koordinaattoriksi. Laitteessa on tyypillisesti siihen liittyvä sovellus ja on verkon kommunikaation alku- tai loppupiste. PAN-koordinaattorilla voi olla myös erityinen sovellus, mutta sitä voi käyttää kommunikaation aloittamiseen, lopettamiseen ja reitittämiseen eri puolille verkkoa. PAN-koordinaattori on PAN-verkon ensisijainen laite. Kaikilla verkossa toimivilla laitteilla verkon topologiasta riippumatta on uniikki osoite, jota kutsutaan laajennetuksi osoitteeksi. laite käyttää laajennettua osoitetta suoraan kommunikaatioon PAN-verkon sisällä tai PAN-koordinaattorin antamaa lyhyttä osoitetta laitteen liittyttyä verkkoon. PAN-koordinaattoria on usein kytketty luotettavaan virtalähteeseen, kun muut laitteet ovat todennäköisemmin sisäisellä tehollähteellä, kuten patterilla tai akulla. Tähti topologiasta hyötyviin sovelluksiin kuuluu kotiautomaatio, henkilökohtaisen tietokoneen lisälaitteet, pelit ja henkilökohtainen terveyshuolto. (IEEE, 2011)

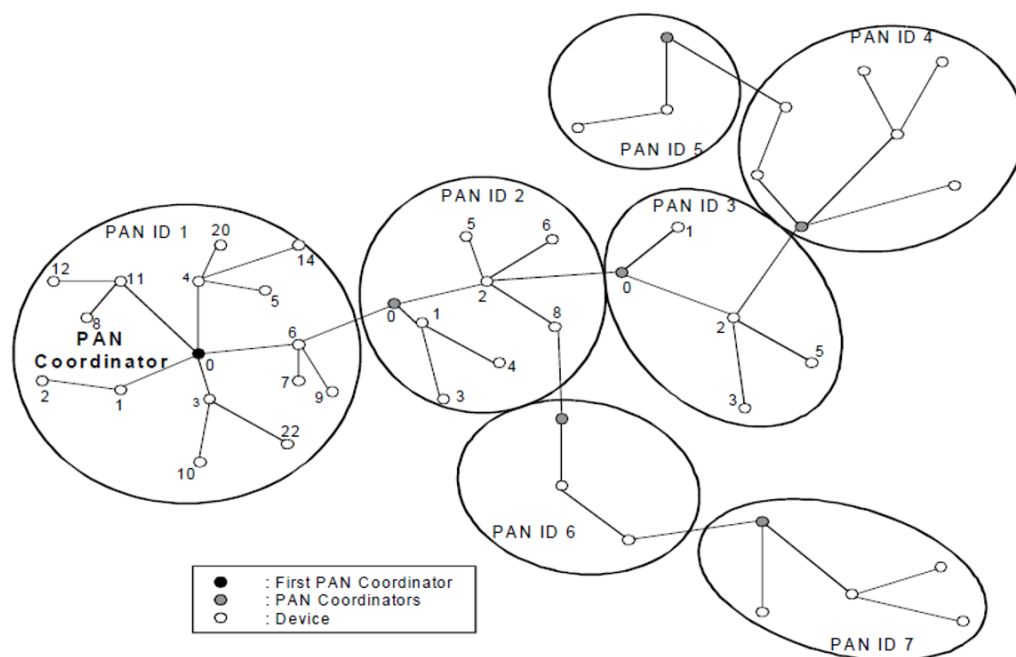
Tähtiverkon perusrakenne on kuvattu kuvassa 14. Täyden toiminnon laitteen aktivoimisen jälkeen se voi muodostaa oman verkon ja voi tulla PAN-koordinaattoriksi. Kaikki tähti verkot toimivat itsenäisenä kokonaisuutena muiden toiminnassa olevien tähti verkkojen joukossa. Tämän mahdollistaa käyttämättömän PAN-tunnisteen valitseminen kantaman sisällä olevien verkkojen mukaan. PAN-tunnisteen valitsemisen jälkeen PAN-koordinaattori antaa muiden täyden toiminnon ja rajoitetun toiminnon laitteiden liittyä sen verkkoon. (IEEE, 2011)

5.4.2 P2P

laitteelta laitteelle (P2P) topologiassa on myös PAN-koordinaattori. Kuitenkin se eroaa tähti topologiasta, että jokainen laite voi kommunikoida toistensa kanssa, kunhan he ovat toistensa kantoalueella. P2P-topologia mahdollistaa monimutkaisemman verkon muodostamisen, kuten mesh verkkon. Sovelluksissa kuten teollisuuden ohjaamisessa ja seuraamisessa, langattomissa sensori verkoissa, varastotilanteen seuraamisessa, älykkäässä maanviljelyssä ja turvallisuudessa hyötoisen mesh verkon topologiasta. (IEEE, 2011)

P2P-verkko mahdollistaa viestin reitittämisen useilla hypyillä laitteelta laitteelle missä tahansa verkossa. Jokainen PAN-koordinaattori valitsee uniikin tunnisteen. Tämä PAN-koordinaattorin tunniste sallii kommunikaation laitteiden välillä lyhyillä osoitteilla ja mahdollistaa tiedonsiirron laitteiden välillä verkon sisäisten itsenäisien verkkojen kesken. Itsenäisiä verkkoja muodostuu, kun verkossa on rajoitetun toiminnon laitteita myös. (IEEE, 2011)

Kuvassa 14 on esitetty P2P-topologian rakenne. P2P-topologiassa jokainen laite kykenee kommunikoimaan muiden laitteiden kanssa kantoalueen sisällä. Yksi laite nimetään PAN-koordinaattoriksi, jonka tehtävänä on olla ensimmäinen kommunikoiva laite omalla kanavalla. Verkon muun osan rakenne koostuu P2P-topologialla ja mahdollisesti määrää topologian rajoituksen verkon muodostamisissa. (IEEE, 2011)



Kuva 15. P2P-verkkojen ryhmien muodostama ryhmäpuu verkon (Cluster tree). (IEEE, 2011)

Kuvassa 15 muodostuu puun muotoinen verkko, jossa PAN-koordinaattorit ovat luoneet omia verkkoja, ja P2P-topologian mukaisesti ovat yhdistäneet ne yhdeksi suureksi verkoksi, joka pystyy laajentumaan. Ryhmäpuu verkko on P2P-verkon erityistapaus, jossa useimmat laitteet ovat täyden toiminnon laitteita. Rajoitetun toiminnon laite voi liittyä verkkoon oksan viimeiseksi laitteeksi, koska rajoitetun toiminnon laite pystyy kommunikoimaan vain yhden laitteen kanssa. Jokainen täyden toiminnon laite

kykenee toimimaan koordinaattorina ja tuo synkronointipalveluita muille laitteille ja koordinaattoreille. Vain yksinäistä koordinaattoreista on yleensä PAN-koordinaattori mahdollisesti, koska sillä on enemmän resursseja kuin muilla laitteilla PAN-verkossa. PAN-koordinaattori muodostaa ensimmäisen ryhmän valitsemalla käyttämättömän PAN-tunnisteen ja mainostaa verkkoa naapurilaitteille. Kiistan ratkaisemiseksi tarvitaan, jos kaksi tai useampi täyden toiminnon aite yhtä aikaa yrittää tehdä itsestään PAN-koordinaattorin. Potentiaalisen laitteet vastaanottaessa mainostuksen muodostetusta verkosta, se voi pyytää liittymistä verkkoon PAN-koordinaattorina. Jos PAN-koordinaattori hyväksyy laitteen pyynnön liittyä verkkoon, se lisää uuden laitteen lapsi laitteena naapureiden listaan. Sitten juuri yhdistetty laite lisää PAN-koordinaattorin sen vanhempiin naapurilistalle ja alkaa mainostaa verkkoa uusille potentiaalisille laitteille säännöllisen ajan välein. Muut potentiaaliset laitteet voivat liittyä mainostettuun verkkoon. Jos alkuperäinen potentiaalinen laite ei pysty liittymään verkkoon PAN-koordinaattorina, se etsii toisen verkon liittyäkseen verkkoon. (IEEE, 2011)

Yksinkertaisin ryhmäpuu verkon muoto on yhden verkon ryhmä, mutta isommissa verkoissa on mahdollista muodostaa useimpien naapuriryhmien mesh verkko. Kunhan ennaltamääritellyn sovelluksen tai verkon vaatimukset täyttyvät. Ensimmäinen PAN-koordinaattori ohjeistaa laitteita tulemaan uuden ryhmän PAN-koordinaattoriksi. Muut laitteet lopulta liittyvät ja muodostavan useamman ryhmän verkon rakenteen, kuten kuvassa 15 on esitetty. Useampi ryhmäisen rakenteen etu on laajentunut kantavuusalue, mutta samalla viestien viive kasvaa. (IEEE, 2011)

6 HALTIAN THINGSEEPD

Haltian on suomalainen yhtiö. Haltian on tuonut saataville IoT-alustan pienillä sensoreilla. Alusta koostuu Thingsee Gateway-laitteesta ja Thingsee POD 1 sensoreista. Alusta käyttää Wirepas-yhteyttä, joka muodostaa itsenäisen sensoreiden verkon. (Prophet, 2016)

Thingsee Gateway-laitteena on Raspberry Pi 3. Raspberry Pi 3 - tietokoneella on Linux-pohjainen Raspian Jessie Lite käyttäjärjestelmä. Tietokone voi yhdistää internettiin LAN- tai WLAN-yhteydellä. Yhteyksillä Gateway-laitteen voi yhdistää internettiin langallisesti ethernet-kaapelilla tai langattomasti WLAN-yhteydellä kantomatkan päässä olevaan modeemiin tai tukiasemaan.



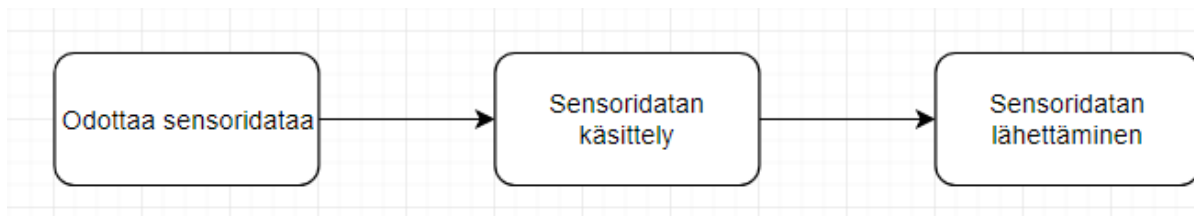
Kuva 16. Haltian Thingsee POD-kehityssarja.

Kuvassa 16 on kuvattu Haltian ThingseePOD kehityssarja. Kehityssarja koostuu Gateway-laitteesta, USB-laitteesta ja ThingseePOD-antureista. Gateway-laitteeseen kytketään pieni USB-laite. USB-laite muodostaa yhteyden Wirepas-verkkoon. USB-laiteella gateway-laite voi liittyä Wirepas-sensoriverkkoon. Gateway-laitteessa on esiasennettuna Python-sovellus. Python-sovellus lukee USB-laitteella sensori dataa Wirepas-verkon Thingsee POD 1 sensoreilta. Sovelluksen keräämä sensori data välittää eteenpäin oletuksena Haltian MQTT-protokollan välittäjä sovellukselle.

ThingseePOD-anturi on kykenevä ympäristön olosuhteiden seuraamiseen. Thingsee POD sensorit mitaavat useita ympäristön parametrejä. Mitattavia parametrejä on lämpötila, valoisuus, ilman suhteellinen kosteus, ilmanpaine ja liike. Lisäksi sensorissa on hall-anturi. Hall-anturilla sensori voi ilmaista esimerkiksi oven tilaa kuljetuksessa ja monia eri tyyppisiä venttiileitä. Thingsee POD on kooltaan pienempi kuin golfpallo. Sensorin toiminta-aika CR123A-paristolla on useita vuosia. (Prophet, 2016)

6.1 Gateway-laitteen toiminta

Gateway-laitteen toiminta perustuu Python-sovellukseen. Gateway-laitteeseen on kytketty USB-laite, jota sovellus käyttää yhteyden muodostamiseen sensorijärjestelmään. USB-laite muodostaa yhteyden itsenäiseen sensoriverkkoon. Sovellus on yhteydessä sensoriverkkoon USB-laitteen välityksellä.



Kuva 17. Python-sovelluksen toimintaperiaate.

Kuvassa 17 on esitetty python-sovelluksen toimintaperiaate. Sen toiminnan vaiheet ovat sensoridatan odottaminen, sen käsittely ja edelleen lähettäminen. Sensoriverkkoon yhteyden muodostanut Gateway-laite saa jokaiselta sensoriverkon anturilta mittauspaketin minuutin välein. Gateway-laitteen ollessa pois verkosta se vastaanottaa antureille muistiin mahtuneet mittaukset, kun Gateway-laite ei ole muodostanut yhteyttä sensoriverkkoon.

Sovelluksella on kaksi säiettä. Toinen säie kuuntelee kokoaikaisesti sensoriverkkoa. Sovelluksen varsinainen käsittelee ja edelleen lähettää käsitellyn sensoridatan. Sensoridatan saapuessa Gateway-laitteelle sensoriverkkoa kuunteleva rinnakkainen säie siirtää datan sovelluksen säikeeseen.

Saapunut sensoridata on JSON-muodossa. JSON-muodossa oleva data valmiina käyttöön, mutta sitä voi esikäsitellä ennen lähettämistä eteenpäin. Ennen sensoridatan edelleen lähettämistä, siintä valitaan käyttökohteeseen tarpeellinen data. Sovelluksella voi esikäsitellä sensoridataa, jota voidaan kutsua Edge Computing-toiminnoksi.

Sovelluskäyttää sensoridatan edelleen lähettämiseen oletuksena MQTT-protokollaa. Sovelluksen alussa se muodostaa yhteyden MQTT-standardin välittäjään, jolloin se on valmiina lähettämään tiedon eteenpäin välittömästi.

Sovellus on täysin avoin muutoksille, joten sitä voi muokata käyttötarkoitukseen sopivaksi. Python-ohjelmistokielen rajoitukset ovat rajana toteutuksessa.

6.2 ThingseePOD-anturin datan rakenne

ThingseePOD-anturi lähettää datapaketin kerran minuutissa. Datapaketti on tekstinä JSON-muodossa. Datapaketissa on anturin yksiköllinen tunniste ja mittausaika.

```
{
  "id": "8436789",
  "Time": "21.4.2019 20:22:02",
  "data": {
    "Temperature": "22,8",
    "Humidity": "50",
    "Pressure": "1038,5",
    "Light": "57",
    "Hall": "15",
    "Acceleration": {
      "x": "6,3",
      "y": "3,2",
      "z": "7,1"
    }
  }
}
```

Kuva 18. ThingseePOD-anturin datan rakenne.

Kuvassa 18 on esitetty datapaketin sisältö. Anturin yksilöllinen tunniste on ID-kentässä. yksilöllinen tunniste on sarjanumeroita. Yksilöllinen tunniste on merkitty antureiden taakse. Mittausaika on TIME-kentässä. Mittausaika on muotoiltu päivämäärä ja aika muotoon. Mittausaikaan ei sisälly aikavyöhykettä. DATA-kenttä sisältää anturit mittaamat parametrit. Parametrejä on lämpötila (Temperature), ilman suhteellinen kosteus (Humidity), ilmanpaine (Pressure), valoisuus (Light), Hall-anturi (Hall) ja liike (Acceleration).

Lämpötilan yksikkö on celsius. Ilman suhtellisen kosteuden yksikkö on prosentti (%). Ilmanpaineen yksikkö on hehto pascal (hPa). Valoisuuden yksikkö ei ole tiedossa. Hall-anturin yksikkö ei ole tiedossa. Liike on mitattu kolmiakselisella kiihtyvyyssanturilla. Akseleita on x, y ja z. Akseleiden yksikkö on ilmaistu tuntemattomana numerona. Numeron suurin arvo on 1024. Suurin arvo vastaa maan vetovoimaa eli $9,81 \text{ m/s}^2$.

7 SAVONIA MITTAUS-PALVELU

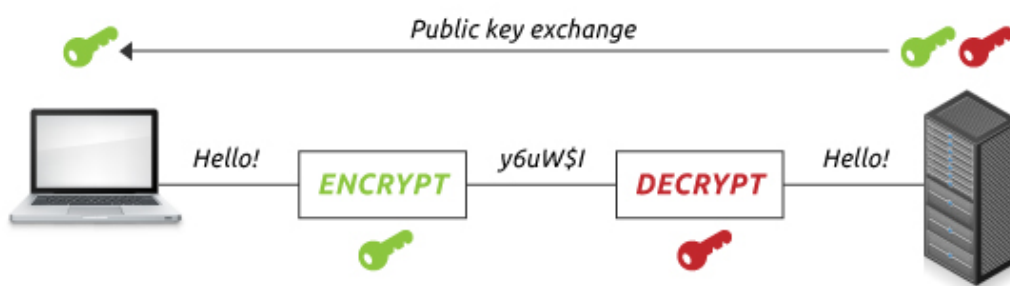
Savonia Mittaus-palvelu on suunniteltu ja toteutettu Savonia-ammattikorkeakoululla. Palvelun ideana on tallentaa dataa perustietotyyppinä kuten numeroina, tekstinä tai binaarina. Datan voi tallentaa palveluun tekstinä, numero, binaaridatana ja XML-dokumenttina. Tekstiä voi hyväksi käyttää esimerkiksi JSON-dokumentin ja muun tyyppisen dokumentin tallentamiseen.

Savonia Mittaus-palvelu on tarkoitettu tiedon varastointiin, joten muut toiminnot tehdään palvelun ulkopuolella. Tieto tallennetaan SQL-tietokantaan, josta sitä voi käyttää helppokäyttöisten rajapintojen avulla. Rajapintoina on HTTP- ja WFC-rajapinnalla. Suunnitelmissa on MQTT-protokollan lisääminen rajapintoihin tulevaisuudessa.

Data tallennetaan palveluun käyttämällä avaimia. Avaimia on kirjoitus, luku ja muokkaus oikeuksilla. Esimerkiksi kirjoitusavaimella voi kirjoittaa palveluun dataa ja lukea sitä, mutta luku avaimella ei voi kirjoittaa sitä palveluun.

7.1 Turvallinen HTTPS-yhteys.

HTTPS-protokolla muodostuu HTTP-protokollasta ja SSL-protokollasta. SSL-protokolla eli Secure Socket Layer käytetään datan salaamiseen internet palvelimen ja selaimen välillä. SSL-protokollassa selain ja palvelin muodostavat salatun putken tiedonsiirtoon. Tieto salataan palvelimen antamalla avaimella, joten vain palvelin ja selain pystyvät ymmärtämään dataa sen oikeassa muodossa. (Is It Safe To Use HTTPS, 2017)



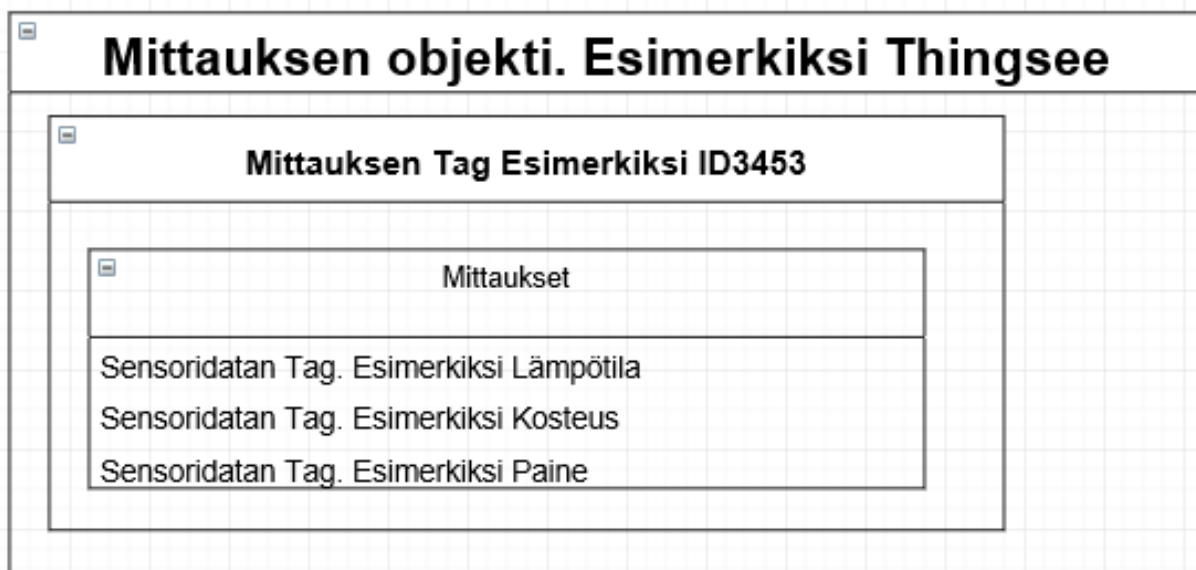
Kuva 19. Epäsymmetrienen salaus tietokoneen ja palvelimen välillä. (Digicert, 2019)

Kuvassa 19 kuvattu epäsymmetrinen salaus palvelimen ja tietokoneen välillä. Turvallisen yhteyden muodostava tietokone saa palvelimelta julkisen avaimen, jolla se salaa tiedonsiirron tietokoneen ja palvelimen välillä. Epäsymmetrinen salaus käyttää erillistä avainta salaukseen ja sen purkuun. Jokainen voi salata viestin julkisella salausavaimella, mutta sen purkamiseen tarvittavat yksityiset avaimet ovat salaisia. Tällä tavalla vain tarkoitetut vastaanottajat voivat purkaa viestin. (Digicert, 2019)

7.2 Savonia Mittaus-palvelun mittauksen tunnisteet

Savonia Mittaus-palvelun käyttäminen edellyttää sensoridatan esikäsittelyä palvelun odottamaan mittauspakettiin. Työhön valittu HTTP-rajapinta odottaa sensoridatan olevan JSON-pakettina, joka sisältää Savonia Mittaus-palvelulle vaadittuja tietoja. Vaadittuja tietoja on kirjoitusavain, aikaleima, muotoiltu sensoridata ja tagit.

Kirjoitusavain on mittauspaketin tunniste, joka toimii samalla käyttäjätunnuksena palveluun. Sen avulla palvelu hyväksyy mittauspaketin ja sijoittaa mittauspaketin sisältämän sensoridatan palveluun saataville. Palvelu käyttää mittauspaketin tunnisteita datan selkeyttämiseksi.



Kuva 20. Savonia Mittaus-palvelun Tag-järjestelmä.

Kuvassa 20 on esitetty tag-järjestelmän rakenne. Tag-järjestelmä muodostuu mittauksen objektin tunnisteesta, mittauksen tag-tunnisteesta ja datan tag-tunnisteista. Mittauksen objekti kuvaa mittauspaketin sisällön lähdettä tai aluetta. Mittausen tag-tunniste kuvaa tarkemmin mittauspaketin sisältöä kuvailemalla mittauksen kohdetta tai paikkaa. Mittauksen dataa kuvastaa datakohtaiset tag-tunnisteet. Tunnisteilla Mittauksen datan sisällön voi ilmaista.

7.3 Savonia Mittaus-palvelun mittauspaketti HTTP-rajapintaan

Savonia Mittaus-palvelun HTTP-rajapinta on saatavilla internetin yli turvallisella HTTPS-yhteydellä. Mittauspaketti lähetetään POST-metodilla, jossa mittapaketin data on HTTP POST-pyyntönsisällön sisällä. HTTPS-yhteys varmistaa datan lähettämisen tapahtuvan tietoturvasyistä.

```
{
  "key": "{SaMi Kirjoitusavain}",
  "measurements": [
    {
      "Data": [
        {
          "BinaryValue": {Mittauksen tieto tavuina},
          "BinaryValueBase64": {Mittauksen tieto tavuina Base64 koodattuna tekstinä},
          "LongValue": {Mittauksen 64-bittinen kokonaisluku},
          "Tag": {Sensorin tunniste},
          "TextValue": {Mittauksen tekstiarvo}
          "Value": {Mittauksen arvo, Tukee desimaaliarvoja},
          "XmlValue": {Mittauksen XML-paketti tekstinä}
        }
      ],
      "Location": {"Latitude": {Sijainnin leveyspiiri},
        "Longitude": {Sijainnin pituuspiiri}},
      "Note": {Mittauksen muistiinpano},
      "Object": {Mittauksen objektin nimi},
      "Tag": {Mittauksen tunniste},
      "Timestamp": {"DateTime": "\/Date({UNIX-aika})\/",
        "OffsetMinutes": {Aika vyöhyke minuutteina}},
      "TimestampISO8601": {ISO8601-standardin mukainen aikaleima}
    }
  ]
}
```

Kuva 21. Savonia Mittaus-palvelun mittauspaketti JSON-muodossa.

Kuvassa 21 on mittauspaketin rakenne Savonia Mittaus-palveluun. Savonia Mittaus JSON-paketin vaadittuina tietoina on Kirjoitusavain SaMiin, vähintään 1 mittauksen tieto "Data" JSON-tagin sisällä, mittauksen objekti ja ISO8601-standardin mukainen aikaleima tai aikaleima UNIX-ajalla sekä aikavyöhykkeellä.

Mikäli on tarkoituksena lähettää useampia mittauspaketteja, JSON-paketti sisältää useamman mittauksen "measurements" JSON-tagin sisällä pilkulla erottettuina. Vaadittuja tietoja on kirjoitusavain, aikaleima, muotoiltu sensoridata ja tagit.

Savonia Mittaus JSON-paketin kenttiin voi jättää kokonaan pois tai sen arvoksi voi asettaa "null".

8 MICROSOFT AZURE-PILVILUSTA



Kuva 22. Microsoft Azure-pilvialustan logo. (Logopedia, 2019)

Kuvassa 22 on esitetty Microsoft Azure-pilvialustan logo. Microsoft Azure on yksi isoimmista pilvipalveluiden tarjoajista. Palvelukehitykseen on panostettu paljon, joka näkyy palvelussa selkeänä käyttöliittymänä ja kokonaisuuksina. Microsoft Azure-pilvialustalla on tuttu ympäristö asiakkaille, joilla on jo käytössä laaja Microsoft-asennuskanta järjestelmässään. Microsoft Azure-pilvialustan suunnittelun tavoitteena on rakentaa helposti lähestyttävä käyttöliittymä Windows-käyttäjille. (Solit, 2019)

Microsoft Azure tarjoaa käyttöön paljon Microsoftin kaupallisia tuotteita ja suosittuja vapaaseen lähdekoodin perustuvia tuotteita palveluina sen pilvialustassa. Palveluilla saa käyttöön virtuaalisia palvelimia, tallennustilaa, tekoälyä, koneoppimisen työkaluja, tietokantoja, analysointi työkaluja, sovelluslustoja, työkaluja älylaitteiden sovelluksille, kehittäjille työkaluja yhteistyöhön, Internet of Thing ja paljon muita palveluita. (Microsoft, 2018)

Microsoft Azure – pilvialustan datakeskukset sijaitsevat ympäri maailmaa tuoden pilvialustan lähelle sen käyttäjää. Datakeskuksia on Pohjois-Amerikassa, Etelä-Amerikassa, Euroopassa ja Aasiassa. Afrikkaan on myös suunnitteilla datakeskuksen rakentaminen. (Microsoft, 2019)

Erityistä Microsoft Azuressa on muihin pilvialustoihin verrattuna Microsoft-tuotteiden tarjonta, kuten SignalR-reaaliaikainen viestintä tai Microsoft PowerBI – Business Intelligence ohjelmisto.

8.1 Remote Monitoring-ratkaisun käyttämät palvelut pilvialustalla

8.1.1 IoT Hub

Microsoft Azure-pilvialustassa Internet of Thing – alustana on IoT Hub. IoT Hub-palvelu perustuu MQTT-protokollaan, jonka ympärillä on toteutettu palvelun käyttöoikeuden hallinta. Käyttöoikeuden hallinta toteuttaa IoT-laitteiden pääsyn hallinnan ja Device Twin-toiminnon laitteille. Device Twin-toiminto on JSON-dokumentti, joka sisältää metadattaa, määrittelyjä ja tiloja laitteesta.

8.1.2 Stream Analytic

Stream Analytics käsittelee reaaliajassa tulevan datan. Stream Analytics kykenee käsittelemään saman aikaisesti tulevan datan rinnakkain massiivisessa mittakaavassa. Stream Analytics-palvelun työn määrittelyssä käytetään SQL-kieltä muistuttavalla ohjelmointikielellä. (Microsoft, 2018)

8.1.3 Event Hub

Event Hub-palvelu on Big Data-streamaus alusta ja tapahtumien välitys palvelu. Se pystyy vastaanottamaan ja käsittelemään miljoonia tapahtumia sekunnissa. Event Hub-palvelu pystyy käsittelemään ja tallentamaan hajautettujen sovellusten ja laitteiden tuottamaa tapahtumia dataa tai telemetria (Microsoft, 2019)

8.1.4 DocumentDB

DocumentDB on Microsoftin uusi NoSQL-dokumentti tietokanta-alusta, joka on palveluna Azure-pilvialustalla. Se on suunniteltu datan käsittelyn vaatimusten mukaisesti. Tietokanta on joustava mihin tahansa datan muotoon. Tietotallennetaan JSON-dokumentteihin, joista voi hakea tietoa SQL-kaltaisella kielellä. Se tukee myös palvelimen puolen ohjelmointi ympäristöä tallennettuihin prosesseihin, liipaisimiin ja käyttäjän määrittelemiin metodeihin. (Lobel, 2015)

8.1.5 Web App

Microsoft Azure – pilvialustalla voi nopeasti suorittaa internet sovelluksia käyttäen .NET, .NET Core, Java, Ruby, Node.js, PHP, Python ja Docker ohjelmaympäristöä. Sovellukset kehitetään paikallisesti normaalisti käyttäjän valitsemalla kehitysympäristöllä. Sovellukset sijoitetaan sen jälkeen palveluun suoritettavaksi. (Microsoft, 2019)

8.1.6 Web Job

Web Job on Azure App Servicen ominaisuus, joka mahdollistaa ohjelma tai scriptin suorittamisen samassa kontekstissa kuin Wep App, API App tai mobile App-sovellukset. Se voidaan suorittaa liipaisivassa tai jatkuvassa tilassa.

8.1.7 Blob-storage

Blob-ratkaisu mahdollistaa ohjelmien tallentamattoman tekstin ja binaaritietojen tallentamisen nip-puina, joihin pääsee HTTP(S) -polulla. Blob-palvelu tarjoaa myös turvamekanismeja tiedonsiirron val-vomiseksi.

8.1.8 Power BI

Power BI on liiketoiminnan niin sanottu "Business Intelligence" sovellus. Sovelluksessa on helppo käyttää työkalut. Työkaluilla datan kerääminen, analysointi ja visualisointi onnistuvat liiketoiminnan käyttäjiltä. Power Bi-sovelluksen käyttöliittymä on intuitiivinen Excelin käyttäjille. Käyttöliittymän in-tegroidut toiminnot muihin Microsoftin tuotteisiin tekevät sen erittäin monipuoliseksi työkaluksi. Power BI on helppokäyttöinen ohjelma, joka ei tarvitse paljon koulutusta. (Rouse, 2018)

8.1.9 Azure AD

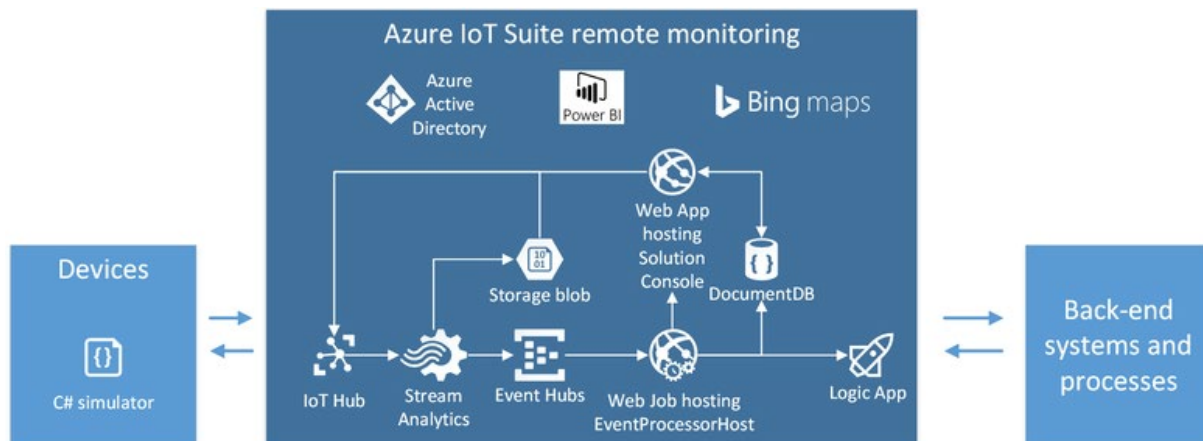
Azure Active Directory on Microsoftin kehittämä pilvipalvelu pohjainen käyttäjän hallinta ja kirjautu-misjärjestelmä. Palvelu on ylläpidetty Microsoft Azure-pilvialustalla. Palvelu voi käyttää sovelluksille pilvialustalla ja yritysten paikallisissa järjestelmissä. (Rainey, 2014)

8.1.10 Logic App

Logic Apps on pilvipalvelu, joka helpottaa töiden, liiketalouden prosessien ja työvaiheiden automati-soitua ja hallintaa. Se yhdistää sovellukset, datan, järjestelmät ja palvelu yrityksen ja pilvialustan välillä. Logic App-palvelu yksinkertaistaa skaalautuvan ratkaisun suunnittelun. (Microsoft, 2018)

8.2 Remote Monitoring-ratkaisun toimintaperiaate

Remote Monitoring-toteutus sisältää käyttäjien hallinnan, IoT-laitteiden hallinnan, tietojen tallentamisen, visualisoinnin, analysoinnin ja sääntöihin perustuvan ilmoitusjärjestelmän. Ilmoitusjärjestelmällä toteutus voi lähettää sähköpostin tai tekstiviestin matkapuhelimeen.



Kuva 23. Remote Monitoring-toteutuksen toimintaperiaate. (Microsoft, 2018)

Kuvassa 23 on esitetty Remote Monitoring-toteutuksen toimintaperiaate. Toimintaperiaate esittää sensordatan käsittelyn vaiheet Microsoft Azure-pilvialustalla. Remote Monitoring-toteutus käyttää Microsoft Azure-pilvialustan IoT Hub-palvelua rajapintana tiedon vastaanottamiseen. IoT Hub-palvelusta tieto käsitellään Stream Analytics-palvelulla. Stream Analytics-palvelu tallentaa tiedon Blob-tallennustilaan ja välittää tapahtuman Event Hub-palvelulla eteenpäin. Event Hub-palvelu välittää tapahtuman tiedot Web Job-palvelulla. Web Job-palvelu käsittelee taustalla Remote Monitoring-toteutuksen toimintoja. Logic App-palvelulla taustakäsittely voi lähettää sähköpostiviestejä tai tekstiviestejä mobiiliverkossa.

Remote Monitoring-toteutus käyttää Azure AD-palvelua sovelluksen käyttäjien hallintaan. Microsoft Power BI-sovelluksella voi toteutuksen tallentamia tietoja hakea ja analysoida tarkemmin.

9 YMPÄRISTÖN MONITOROINTI LANGATTOMALLA SENSORIVERKOLLA

Älykkään valaistuksen toiminnan salaisuus on tietoisuus valaistavasta ympäristöstä. Tiedolla valaistuksen ohjauksesta tulee älykäs. Älykäs valaistus ottaa huomioon riskialttiit olosuhteet. Riskialtiin olosuhteista tekee maan liukkaus, heikko näkyvyys ja vilkas liikenne. Liukkaita olosuhteita on vesisade syksyllä ja jäätynyt maa. Jäätyneessä maassa erityisen liukkaan tekee sulanut kerros jään päällä. Valaistuksen tehostaminen riskialtiissa tilanteessa pienentää vahinkon riskiä valaistulla alueella. Vahinkon riskiä pienentämällä tapaturmia alueella voi välttää ja näin säästää yllättävissä kustannuksissa.

Liukkaat olosuhteet voi tunnistaa lämpötilasta ja kosteudesta. Ilman suhteellinen kosteus kasvaa vettä sataessa ja lämpötilan noustessa. Lämpötilan ja kosteuden mittauksella voi tunnistaa liukkaat olosuhteet. Riskialttiiden olosuhteiden tunnistamisessa auttaa valoisuuden mittausta.

Ympäristön monitorointi järjestelmissä on kaksi vaihtoehtoa. Vaihtoehtoja on langallinen järjestelmä ja langaton. Langallinen järjestelmässä hyvää on luotettava eikä anturit vaadi pariston vaihtoa. Huonoa langallissa järjestelmässä on järjestelmän asentamiseen vaadittava johtominen Gateway-laitteen ja sensoreiden välillä. Langattomassa järjestelmässä hyvää on antureiden vapaa sijoittaminen ja järjestelmän vaivaton asentaminen. Huonoa langattomassa järjestelmässä mahdollinen sensoriverkon yhteyden häiriöt ja tarve vaihtaa sensorikohtainen sisäinen virtalähde.

Sensorin tulee pystyä mittaamaan ainakin lämpötilaa ja kosteutta. Opinnäytetyöhön valittu Haltian ThingseePOD-sensorijärjestelmällä voi mittata lämpötilaa, valoisuutta, ilman suhteellista kosteutta, ilmanpainetta ja liikettä. Sensorijärjestelmä toimii langattomalla verkolla, joten mahdollisia häiriöitä toiminnassa on häiriö yhteydessä ja sisäinen virtalähteen loppuminen. Sensorijärjestelmä käyttää Wi-repas-verkkoa. Wirepas-verkko on kehittyneimpiä itsejärjestäytyviä sensoriverkkoja saatavilla tällä hetkellä. Sensorikohtaisen sisäinen virtalähde valmistajan mukaan kestää jopa 3 vuoden. Valmistajan ilmoittamalla sisäisen virtalähteen keston mukaan sisäisen virtalähteen vaihtamisesta ei tule merkittävästi työtä pitkällä aikavälillä.

ThingseePOD-sensori järjestelmä kattaa ympäristön monitoroinnin vaatimukset tunnistamaan riskialttiit olosuhteet mittaamalla lämpötilaa, kosteutta ja valoisuutta.

Ympäristön monitorointi toteutettiin Microsoft Azure-pilvialustaan. Microsoft Azure-pilvialustan Remote Monitoring-ratkaisun käyttämisestä tuli suuret lissenssimaksut. Lissenssimaksujen vuoksi ympäristön monitoroinnin ratkaisun Microsoft Azure-pilvialustalla jäi kesken ennen varsinaista kokeilua.

Microsoft Azure-pilvialustan kokemusten perusteella suunniteltiin toteuttamista muualle. Savonia-ammattikorkeakoulun Savonia Mittaus-palvelu on valittu. Opinnäytetyön laajuuden rajoittamiseksi Savonia Mittaus-palvelun osuutta ei tehty opinnäytetyössä.

9.1 Monitorointi sovellus Microsoft Azure-pilvialustaan

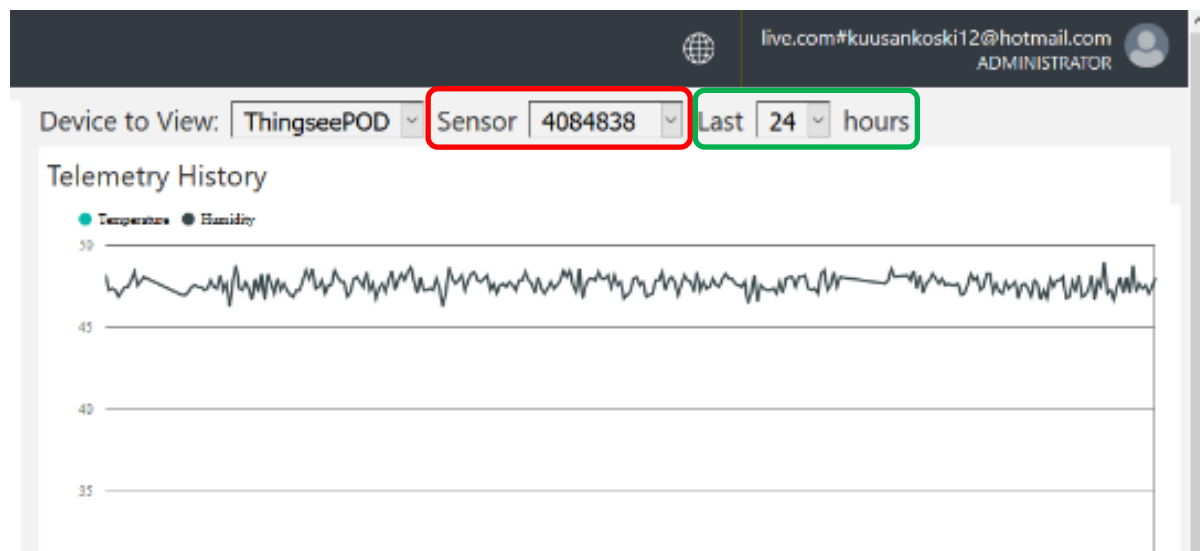
Ympäristön monitorointi tarvitsee ratkaisun, jolla tietoa voidaan kerätä ja tallentaa. Toimivan ratkaisun vaatimuksia on rajapinta tiedon lähettämiseksi verkon yli, lähetettyjen tietojen tallentaminen ja tallennettujen tietojen visuaalisointi.

Monitorointi sovelluksen toteuttamisessa lähtökohtana oli toteutus pilvialustalla. Pilvialustan etuna on tarvittavien resurssien helppo käyttöönotto. Ratkaisun toteuttamisessa pilvialustalla tulee harkita tarkasti, koska pilvialustan palveluista maksetaan käytön mukaan. Lisäksi pilvialustalla on yleensä palveluina nykyaikaiset tekniikat. Nykyaikaisilla tekniikoilla on ratkaisuun mahdollista toteuttaa vaihtoehtoisia uusia toiminnallisuuksia.

Monitorointi sovelluksen toteutuksetki valinnaksi toteutui yleiskäyttöinen "end to end"-toteutus. Toteutus kuuluu Microsoft Azure-pilvialustan Azure IoT Suite-kokonaisuuteen. Kokonaisuus sisältää Internet of Things-ilmion yleisimpiä käyttökohteita. Valittu "end to end"-toteutuksen nimi on Remote Monitoring.

9.1.1 Monitorointi sovelluksen kehittäminen

Remote Monitoring-toteutus on hyvä pohja ympäristön monitorointiin. Toteutuksessa on valmiiksi suunnitellun käyttöliittymä ja tarvittavat toiminnot. Muutokset sovellukseen tulevat Haltian Thingsee-POD-järjestelmän liittämistä monitorointi sovellukseen.



Kuva 24. Muutoksen monitorointi sovellukseen

Kuvassa 24 on punaisella ja vihreällä korostettu kentät. Kenttiin on tehty muutoksena monitorointi sovellukseen. Punainen kenttä korostaa laitteet moni anturi tukea. Vihreällä korostettu kenttä vaikuttaa visualisointiin ottamaan ajanjaksoon nykyhetkestä.

ThingseePOD-järjestelmä eroaa Remote Monitoring-toteutuksessa yleiskäyttöön suunnatusta toteutuksesta. Toteutus odottaa saavansa laitteelta yhden anturin sensoridatan. ThingseePOD-järjestelmästä tulee 20 langattoman anturin sensoridata. ThingseePOD-järjestelmä lähettää antureiden sensoridatan Gateway-laitteelta. Gateway-laite edustaa yhtä laitetta monitorointi sovelluksesta, joten ensimmäinen muutos sovellukseen on useiden antureiden tuen lisääminen yhdeltä laitteelta.

Monitorointi sovellukseen muutos toteutettiin kova koodaamalla antureiden tunnisteet kojelaudan sivulle lisätyllä "Select" HTML-elementillä. Kojelauta sivun JavaScript-ohjelmakoodin logiikkaa muutoksena tuli visualisoinnin päivitys, kun "Select" HTML-elementin arvo muuttuu. Monitorointi sovelluksen taustapalveluun muutoksena on anturi tunnisteiden lisäys. Taustapalvelu hakee tiedon Microsoft Azure-pilvialustasta. Taustapalvelu valitsee vain valitun anturin tunnisteet visualisointiin. Tällä muutoksella monitorointi sovellus voi näyttää sensoridataa kaikilta langattomilta antureilta. Muutos on merkitty kuvassa 24 punaisella.

Remote Monitoring-toteutuksessa kojelaudalla sovellus näyttää viimeisen tunnin anturin mittaukset. Joissakin tapauksissa viimeinen tunti ei kerro anturin toiminnasta tarpeeksi. Anturiin on saattanut tulla vika viimeisen vuorokauden aikana. Antureiden tuloksia voi tutkia power BI-sovelluksella, mutta pika-analyysiin monitorointi sovellus voisi näyttää pidempää aikaakin. Toisena muutoksena on säädettävä visuaalisoinnin ajanjakso.

Monitorointi sovellukseen muutos toteutettiin kova koodaamalla visualisoinnin ajanjakso kojelaudan sivulle lisätyllä "Select" HTML-elementillä. Ajanjakson yksikkö on tunteina. Kojelauta sivun JavaScript-ohjelmakoodin logiikkaa muutoksena tuli visualisoinnin päivitys, kun "Select" HTML-elementin arvo muuttuu. Monitorointi sovelluksen taustapalveluun muutoksena on visualisoinnin ajanjakson lisäys. Taustapalvelu hakee tiedon Microsoft Azure-pilvialustasta. Taustapalvelu valitsee vain valitun anturin tunnisteet visualisointiin, ja visualisoinnin ajanjaksoon sisältyvät mittaukset nykyhetkestä. Tällä muutoksella monitorointi sovellus voi näyttää sensoridataa kaikilta langattomilta antureilta. Muutos on merkitty kuvassa 24 vihreällä.

Kolmantena muutoksena on mittauksen ajankohta. Toteutuksessa mittauksen ajankohtana on aika, jolloin viesti on saapunut IoT Hub-palveluun. Haltian ThingseePOD-järjestelmässä sensoridata sisältää tarkan ajan mittauksesta. Muutos on toteutettu monitorointi sovelluksen taustapalveluun. Taustapalvelu etsii sensoridatasta ennelta määritettyä kenttää. Muutos taustapalveluun tapahtuu muuttamalla esimääritettyä aika kenttää. Muuttamalla määrityksen etsimään sensoridatan sisällä olevaa aikaleimaa. Muutoksen jälkeen visuaalisointi näyttää tarkan mittauksen ajan. Muutos ei näy kojelaudalla.

Monitorointi sovellusta ei otettu käyttöön Microsoft Azure-pilvialustan lisenssi maksujen vuoksi. Monitorointi sovelluksen käyttämät palvelut olivat ensivaikutelmasta huolimatta liian kalliita käytettäväksi.

Monitorointi sovelluksen jatkokehitys ideaksi tuli käyttää Savonia-ammattikorkeakoulun kehittämää Savonia Mittaus-tietokantaa. Savonia Mittaus-tietokanta on maksuton käyttää, joten vastaavia ylläpidon kustannuksia ei sen käytöstä tule.

9.1.2 Ympäristön monitoroinnin gateway-laitteen yhdistäminen IoT Hub-palveluun

Ympäristön monitorointi järjestelmänä on Haltian ThingseePOD. Järjestelmän gateway-laitteella on python-sovellus, joka on yhteydessä monitorointijärjestelmän sensoreihin. Muutoksen kohteena on sovelluksen sensoridatan lähettämisen osa. Alkuperäisessä toteutuksessa sensoridata on lähetetty MQTT-standardi protokollalla.

Muutoksen tavoitteena on yhdistää monitorointi järjestelmän Microsoft Azure-pilvialustan IoT Hub-palveluun. Palvelulla Gateway-laite toimii Remote Monitoring-ratkaisun IoT-datan lähteenä. Muutoksen toteutusratkaisuna on käyttää sovelluksessa käytettyä MQTT-protokollaa tai erillistä Azure IoT Hub-koodikirjastoa Python-ohjelmointikielille.

IoT Hub-palvelu on rakennettu MQTT-protokollan ympärille, joten se tukee MQTT-protokollaa natiivisti. Kuitenkin MQTT-protokollaa tulisi käyttää TLS-protokollalla. Puutteellisen dokumentoinnin yleiseen MQTT-protokolla tukeen vaikeuttaa sen käyttöönottoa. Sen vuoksi Microsoft tarjoaa käyttöön erillistä IoT Hub-ohjelmistokirjastoa. Ohjelmistokirjasto mahdollistaa yksinkertaisen käyttöönoton esimääritellyllä TLS-sertifikaatilla ja Connection string-tiedolla, joka sisältää kaikki yhteyden muodostukseen tarvittavat tiedot.

HostName= <Host Name>;DeviceId= <Device Name>;SharedAccessKey= <Device Key>

Yhteyden muodostukseen tarvittavia tietoja on IoT Hub-palvelun asetuksia, jotka ovat yhteyspiste, SAS-avain ja yhdistyn laitteen tunniste. Connection String-tieto mahdollistaa helpon ja turvallisen yhteyden muodostamisen IoT Hub-palveluun. Tämän vuoksi muutoksessa on päätetty käyttää Azure IoT-ohjelmistokirjastoa.

Muutoksen toteuttamisessa haasteina oli IoT Hub-kirjaston käyttäminen Gateway-laitteella. Python-ohjelmistokieli on tuettu Windows- ja Linux-käyttöjärjestelmille. Python-ohjelman kehitys on helpompaa kehittyneellä Visual Studio-kehitysympäristöllä. Ohjelmiston siirto Gateway-laitteen ja kehitysympäristön välillä on kätevää GitHub-palvelun välityksellä. Alussa yllätyksenä tuli Python-ohjelmiston yhteensopimattomuus Windows-ympäristössä. Käytännössä ratkaisuksi ongelmaan on kehitetty ohjelmistokoodia Windows-ympäristössä ja kokeilla sitä Gateway-laitteella.

Kehitys ongelmien ratkaisun jälkeen tuli aika toteuttaa Gateway-laitteen yhdistäminen IoT Hub-palveluun. Odottamatta IoT Hub-kirjaston on tuettu oletuksena vain Windows-käyttöjärjestelmälle. Tutkimalla tilannetta selviää Linux-käyttöjärjestelmän olevan kuitenkin tuettu. Siinä käyttö edellyttää kirjaston .SO (Shared Object) tiedoston kääntämistä lähdekoodien avulla. Microsoft on ajatellut tilannetta ja ohjeistanut .SO tiedoston kääntämisessä Linux-käyttöjärjestelmälle. Kääntäminen suoritettiin Gateway-laitteella komentorivillä.

```
git clone --recursive https://github.com/Azure/azure-iot-sdk-python.git
sudo apt-get update
sudo apt-get install -y git cmake build-essential curl libcurl4-openssl-dev libssl-dev uuid-dev
```

Kuva 25. Kääntämiseen tarvittavat osat.

Kuvassa 25 esitettyjen osat koostuvat lähdekoodin lataamisella, järjestelmän päivittämisellä ja vaadittujen työkalujen asentamisella. Kääntämistä varten tarvitaan lähdekoodi, joka haetaan git clone komennolla. Komennolle on annettu recursive lippu, joka hakee lähdekoodissa käytettyjen osien käyttöön tarvittavat osat samalla. Kääntäminen edellyttää hakemaan GitHub-palvelusta ohjeistuksen mukaiset lähdekoodit, jotka yhdistämällä pystyy kääntämään lähdekoodit ohjelmistokirjastoksi Python-sovellukseen.

Kääntäminen edellyttää ohjelmistotyökalujen laatamista Gateway-laitteelle. Linux-käyttäjärjestelmä päivitetään ensin "sudo apt-get update" komennolla. Ohjelmistotyökalut ladataan Gateway-laitteelle "sudo apt-get install -y" komennolla, jonka jälkeen luetellaan välillä eroteltuna ohjelmistotyökalut.

10 LANGATON VALAISINKOHTAINEN OHJAUS

Älykkäässä LED-valaistuksessa valaimia ohjataan edistyneesti. Edistynyt ohjaus on toteuttu valaisinkohtaisella ratkaisulla. Valaisinkohtaisessa ratkaisussa valaisimia ohjataan valaisinkohtaisilla ohjaimilla. Valaisinkohtainen ohjain perustuu langattomaan verkkoon, jota kutsutaan nimellä ZigBee.

Valaisinkohtaiset ohjaimet muodostavat itsejärjestyvän verkkoon. Ohjaimet voivat liittyä verkkoon verkon perustamisen jälkeen. Ohjaimet voivat järjestää yhdessä pitkän kantaman ZigBee-verkon MESH-topologia. MESH-topologia muodostuu monista PAN-verkoista, jotka muodostavat yhdessä laajenevan verkon. Tarkemmin MESH-ominaisuudesta ZigBee-verkon osiosta.

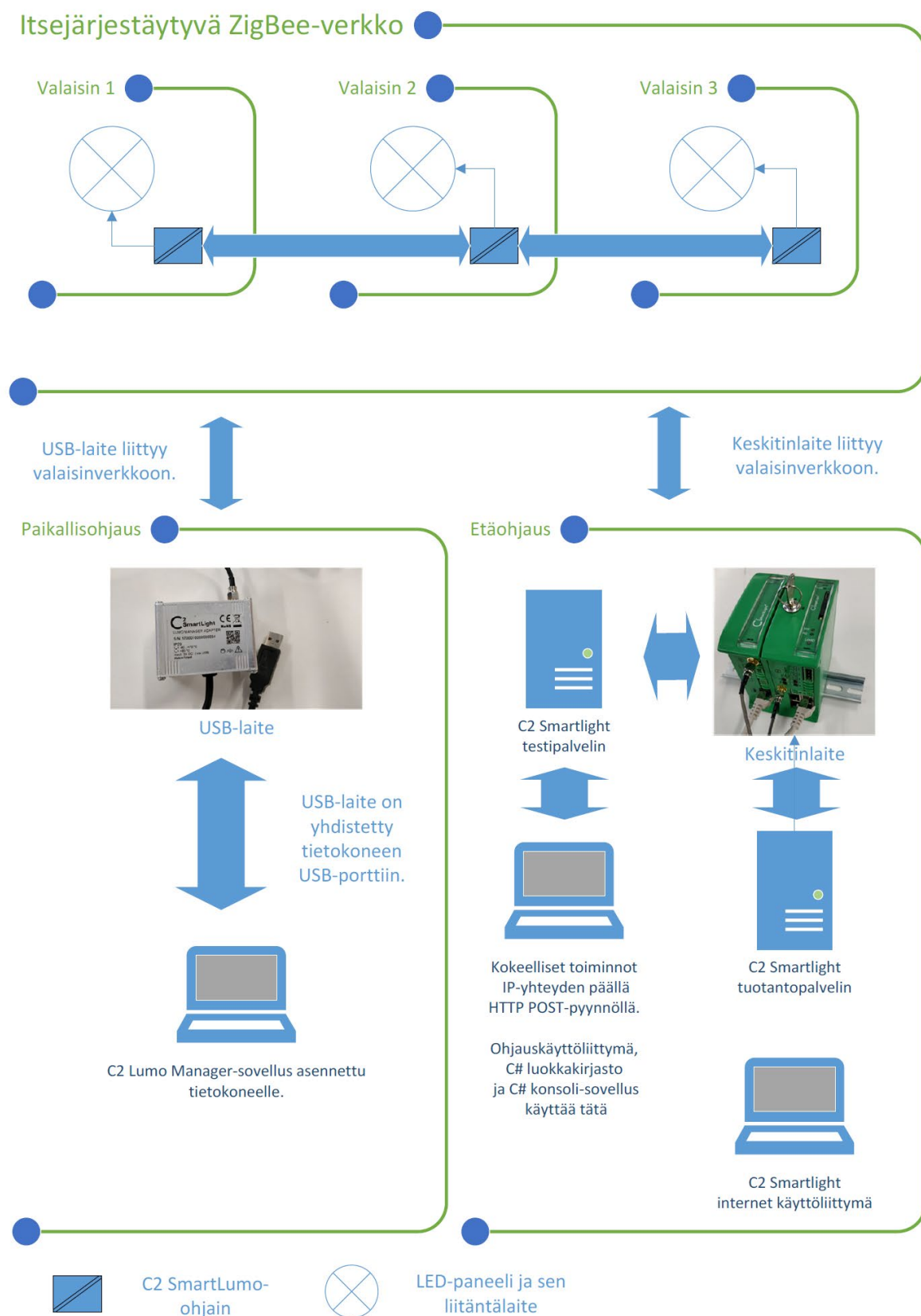


Kuva 26. Valaisinkohtainen C2 Smartlightn valmistama Smartlumo-ohjain. (C2 Smartlight, 2019)

Kuvassa 26 on esitetty valaisinkohtainen ohjain. Ohjaimen on liitetty pieni 2,4 GHz tajuuden antenni ZigBee-verkolle. Valaisinkohtainen ohjain on tasavirtamalli, jolle syötetään 24 V DC-sähköä. Valaisinkohtaisella ohjaimella säädetään valaisimen virtalähdettä jännitesignaalilla tai digitaalisesti DALI-väylällä. Jännitesignaali noudattaa 0/1-10 Voltin ohjausta. Valaisinkohtainen ohjain tuottaa DC-signaalin, joka on 0/1-10 Voltin tasoisen jännitteen. Jännite kuvaa ohjauksen haluttua voimakkuutta. 10 Voltin tasolla ohjattu teho on 100 %. 0/1-10 Voltin ohjaus yhdistetään valaisimen liitälaitteeseen – ja + johdoilla, jolla jännitesignaali tuodaan ohjaimelle.

DALI-väylä toteuttaa vastaavan ohjauksen digitaalisella signaalilla. DALI-väylä on protokolla, joka on kehitetty valaistuksen digitaaliseen ohjaukseen, joka tekee luotettavan, skaalautuvan ja joustavan valaisin verkon asennuksesta helppoa. DALI on alun perin kehitetty mahdollistamaan digitaalinen ohjaus, määrittely ja kaksisuuntainen liikenne. Se korvaa 0/1-10 V analogisen ohjauksen. DALI-väylän digitaalisuus mahdollistaa kaksisuuntaisen liikenteen laitteiden välillä, joten laitteet voivat raportoida virhetiloja tai vastata kyselyyn laitteet tilasta tai muuhun parametriin. DALI-väylä yhdistetään kahdella johtimella, joiden napaisuudella ei ole väliä. (Digital Illumination Interface Alliance, 2019)

10.1 Toimintaperiaate



Kuva 27. Langattoman valaisinkohtaisen ohjauksen toimintaperiaate.

Kuvassa 27 on kuvattu langattoman valaisinkohtaisen ohjauksen toimintaperiaate. Valaisinkohtaisella ohjauksella on kaksi toimintamallia. Toimintamalleja on paikallinen ja etäohjaus. Paikallishajauksella tietokoneeseen liitetään USB-laite. USB-laite muodostaa yhteyden ZigBee-verkkoon. USB-laitteen välityksellä tietokoneeseen asennettu C2 Lumo Manager-sovellus kommunikoi LED-valaisimille.

Etäohjaukseen käytetään keskitinlaitetta. Keskitinlaite välittää internetin yli lähetetyt komennot LED-valaisimille. Keskitinlaite voidaan yhdistää C2 Smartlight:n tuotantopalvelimelle tai testipalvelimelle. Tuotantopalvelimeen yhdistettyä keskitinlaitetta käytetään heidän asiakkaillensa tarjottua käyttöliittymää.

Testipalvelin on alun perin tarkoitettu C2 Smartlight:n omaan käyttöön. Yhteistyön tuloksena he antoivat testipalvelimen käyttöön ja opastivat komentojen muodostuksesta. Testipalvelimella keskitinlaitteelle voi lähettää suoraan komentoja internetyhteydellä. Komennot lähetetään HTTP Post-viestillä. Tämä mahdollistaa komentojen lähettämisen Savonia-ammattikorkeakoululla kehitetyllä sovelluksella.

Komentojen lähettämistä testipalvelimelle on kehitetty sovelluskehityspaketti. Sovelluskehityspaketti on kehitetty C#-ohjelmistokielellä. Sovelluskehityspaketti muodostaa komentopaketit ja tulkitsee komentopaketin vastauksen käyttäjälle.

10.1.1 Itsenäinen valaisinverkko

Valaisimien sisälle asennetut C2 SmartLumo-ohjaimet toimivat ennalta määritellyn valaistus aikataulun mukaisesti. Valaistus aikataulu määritellään C2 Lumo Manager-sovelluksella. Sovellus mahdollistaa valaistus tasojen optimoinin erilaisilla parametreillä, kuten käyttämällä liikeantureita tai painikkeita, joilla valaistus aktivoituu. (C2 Smartlight, 2019)

Valaimet muodostamassa ZigBee-verkossa valaisimet toimivat itsenäisesti reaaliaikaisen kellon, valaistusaikataulun ja eri tapahtumien avulla, kuten liikeanturit (PIR) tai painonappi.

10.2 Paikallisojtaus

Paikallisessa ohjauksessa käytetään tietokoneeseen liitettävään USB-laitetta. USB-laite liittyy älykkäiden LED-valaisimien muodostamaan ZigBee-verkkoon, jolloin vaatimuksena on olla verkon kantokan-
toalueen sisällä. Paikallisella ohjauksella määritellään smartlumo-ohjain laitteelle toiminta. Paikallisella ohjauksella voi määrittää laitteen toiminnan määritellysti.

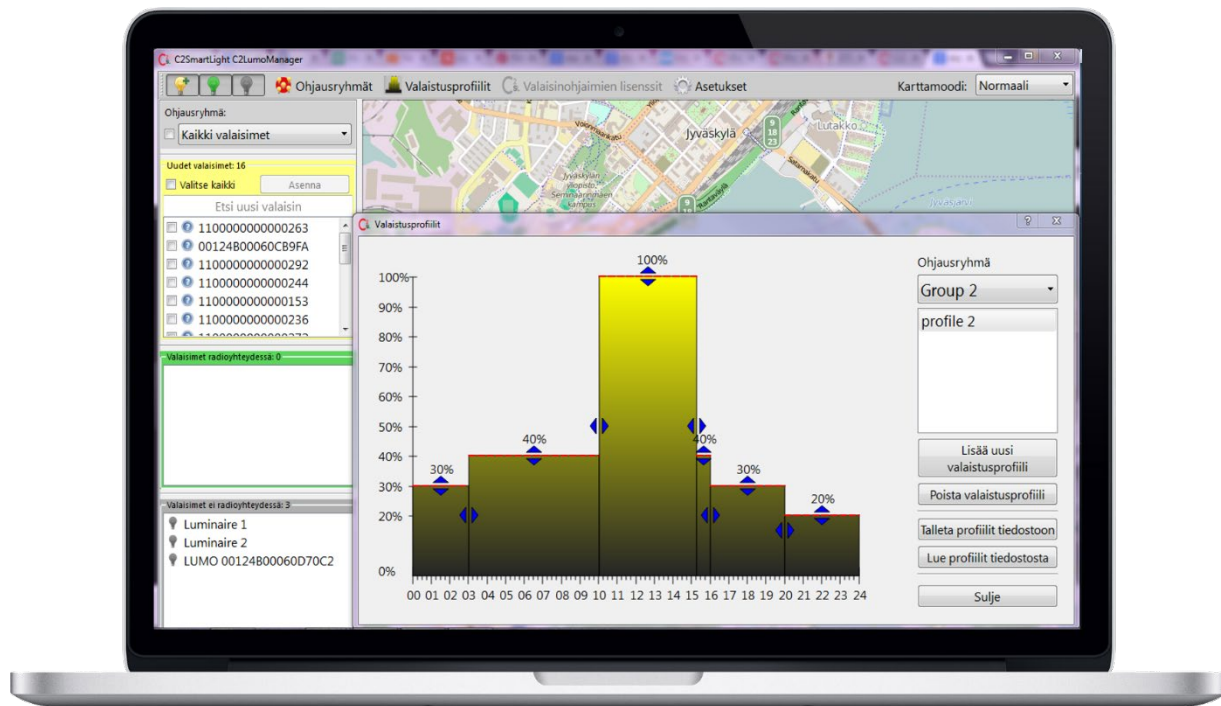


Kuva 28. USB-laite paikalliseen ohjaukseen.

Kuvassa 28 on esitetty tietokoneeseen liitettävä USB-laite. USB-laite asennetaan tietokoneeseen kyt-
kemällä laitteen USB-johto tietokoneen USB-porttiin. USB-laitetta käytetään C2 Lumo Manager-sovel-
luksella. Sovellus asennetaan tietokoneelle, jonka jälkeen USB-laitetta voi käyttää. USB-laite yhdistää
tietokoneen LED-valaisimien muodostamaan ZigBee-verkkoon.

DC-aluevalaistus hankkeessa tavoitteena on luoda älykkäästi ohjattu LED-valaistus. Älykäs ohjaus vaa-
tii etäohjattavaa ratkaisua, johon paikallinen ohjaus ei kykene. Etäohjattavaan ratkaisuun soveltuu
mobiiliverkon kautta toimiva keskitinlaite.

10.2.1 C2 Lumo Manager-Sovellus



Kuva 29. C2 Lumo Manager-sovellus. (C2 Smartlight, 2019)

Kuvassa 29 on esitetty C2 Lumo Manager-sovelluksen valaistusprofiilin asettaminen. Valaisprofiili on käytännössä himmennysaikataulu. Himmennysaikatauluun kuuluu 6 eri himmennystasoa, joiden pituutta voi muokata. Rajoituksena on 6 himmennystason jakautuminen yhdelle päivällä.

C2 Lumo Manager on käyttäjäystävällinen sovellus, jolla helposti ohjataan valaisimia paikallisessa verkossa. Ohjaus paikallisessa verkossa mahdollistaa ratkaisun ilman ylimääräisiä data siirto maksuja. Sovellus sisältää monia eri ohjaus parametrejä valaistuksen optimoimisiin erilaisiin olosuhteisiin. (C2 Smartlight, 2019)

C2 Lumo Manager on asennettu henkilökotaiselle tietokoneelle, joten se on milloin tahansa saatavilla. Sovellus on suunniteltu viikottaiselle valaistuksen aikataululle, jotka ovat määritelty yksittäiselle valaisimelle tai valaisinryhmälle. ohjauksen parametrit on lähetetty valaisimien ohjaimille napin painalluksella. Kun ohjauksen parametrit on lähetetty valaimien ohjaimille, valaisinverkko toimii itsenäisesti. (C2 Smartlight, 2019)

Sovelluksen avulla voi vähentää valaistuksen energian kulutusta ja varmistaa sen toimitan halutussa paikassa, kun valaistusta tarvitsee eniten. (C2 Smartlight, 2019)

10.3 Etäohjaus

Etäohjauksessa käytetään itsenäisesti toimivaa keskitin-kokonaisuutta. Keskitinkokonaisuus muodostaa yhteyden internetiin 3G/GPRS-tekniikalla, joten valaisimia voi ohjata mistä tahansa internetin yli. Etäohjauksella on paikallisohjauksen lisäksi releen ohjaukseen perustuvia ohjaustiloja. Näillä ohjaustiloilla säästetään sähköä katkaisemalla sähkö valaisinverkosta, kun valaistusta ei tarvitse.



Kuva 30. Valaisinkohtaisen ohjauksen etäohjauksen mahdollistama keskitinlaite.

Kuvassa 30 on esitetty etäohjauksen keskitinlaite. Etäohjauksen keskitinlaite muodostuu gateway- ja base station-laitteesta. Laitteet ovat yhdistetty toisiinsa lyhyellä ethernet-kaapelilla. Molempiin osiin on yhdistetty antenit, jotka ovat optimoitu sen käyttötarkoitusta varten.

Gateway-laite on yhteydessä internetiin muuttumattomalla staattisella IP-osoitteella. Laiteella on IP-osoite, jolla sen siihen voi ottaa yhteyttä. Gateway-laite käsittelee saapuneet komennot. Komennot valaisinkohtaisille SmartLumo-ohjaimille toimitetaan paikallisesti base station-laitteella.

Base station-laite liittyy paikalliseen valaisimien muodostamaan verkkoon. Laite pitää yllä kokoaikaisen yhteyden verkkoon. Base station-laite toimii gateway-laitteen lähettämien käskyjen perusteella. Se muodostaa yhteyden valaisinkohtaiseen verkkoon, jonka jälkeen se odottaa gateway-laitteella suoritettavia komentoja.

10.3.1 Internet käyttöliittymä etäohjaukselle

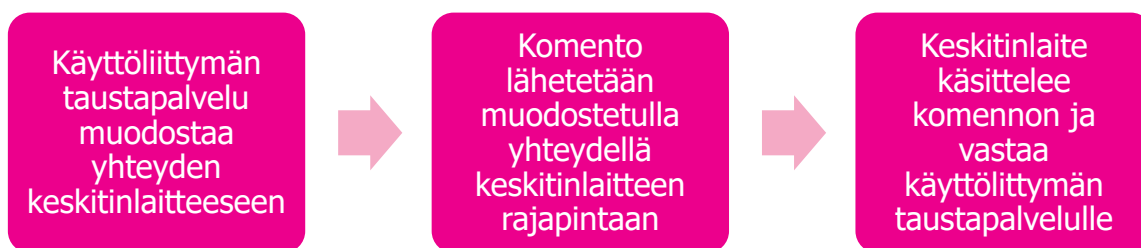
Etäohjauslaitteen käyttöön C2 Smartlight on tehnyt asiakkaille internetin yli käytettävän käyttöliittymän. Käyttöliittymän tarkoituksena on ohjelmoida keskitinlaite ja valaisinkohtaisia SmartLumo-ohjaimia toimimaan ennalta määritellysti.



Kuva 31. Käyttöliittymän toimintaperiaate.

Kuvassa 31 on tiivistetty käyttöliittymän toimintaperiaate. Toiminta perustuu komentojen generointiin, lähetysojonoon ja komennon lähettämiseen keskitinlaitteelle. Käyttöliittymä on yksinkertaistaa komennon generoinin visuaaliseen toteutukseen. Komento muodostuu ohjelmoistavasta toiminnosta ja kohdelaitteesta.

Käyttöliittymällä generoitu komento lisätään lähetysojonoon. Internet käyttöliittymä on C2 Smartlight Oy:n tuotantokäytössä, joten siellä on monia yhtäaikaista käyttäjiä ympäri maailmaa. Yhtäaikaisten käyttäjien vuoksi komento ei siirry keskitinlaitteelle välittömästi lähetettäväksi. Käyttöliittymän taustapalvelu purkaa lähetysojonoa, kunnes tulee oman komennon vuoro.



Kuva 32. Komennon lähetysojonoon keskitinlaitteelle.

Kuvassa 32 on tiivistetty komennon lähettämisen vaiheet keskitinlaitteelle. Komento lähetetään keskitinlaitteelle internet yhteydellä. Keskitinlaitteella on staattinen IP-osoite, jolla laite on saatavilla internetin yli. Komento lähetetään keskitinlaitteen IP-osoitteeseen. Rajapinta vastaanottaa komennon ja palauttaa vastauksen käyttöliittymän taustapalvelulle. Yksityiskohtia komennon lähettämistä ei ole. Tiedot perustuvat havaintoihin järjestelmän eri osista.

10.3.2 Käyttöliittymän ohjausnäköala

Käyttöliittymään ohjaukselle on erillinen näköala. Käyttöliittymän on kehittänyt C2 Smartlight Oy. Se on olennainen osa etäohjauksen kokonaisuutta C2 Smartlight:n luomaa valaisinkohtaista ohjausta.

The screenshot shows a control interface with several panels:

- Himmennystaso:** Himmennystaso: 100, Läheta laiteryhmälle...
- Releen asetukset:** Releen tila: Ei valintaa, Valittu ohjausmoodi: Ei valintaa, Varajärjestelmämoodi: Ei valintaa, Läheta laiteryhmälle...
- Automaattimoodin asetukset:** Sytytystaso: 15.0, Varajärjestelmäviive (Paaile): 00:00, Sammutustaso: 10.0, Varajärjestelmäviive (Pois): 00:00, Läheta laiteryhmälle...
- Astronomisen kellon asetukset:** Sammutuspoikkeama (HH:MM): 00:00, Sytytyspoikkeama (HH:MM): 00:00, Läheta laiteryhmälle...

At the bottom, a table lists device groups:

Nimi	Kuvaus	Releet	IP
Lumo_267_006		R0 R1 R2 R3	10.4.19.184
Lumo_265_008		R0 R1 R2 R3	10.4.19.184
Lumo_264_001		R0 R1 R2 R3	10.4.19.184

Kuva 33. Käyttöliittymän ohjausnäköala auki.

Kuvassa 33 on ohjauskäyttöliittymän näköala. Näköala muodostuu laiteryhmästä, energiansäästötoiminnoista ja muista toiminnoista. Laiteryhmässä on komennon kohdelaitteet, jotka on tarkoituksena ohjelmoida. Laiteryhmän laitteilla on nimi, kuvaus, rele lähdöt ja IP-osoite.

Energiansäästötoimintoja on energiansäästöohjaus, himmennystasot, viikkoaikataulu ja himmennysaikataulu.

Muita toimintoja on himmennystason muutos, releen ohjaus, ohjausmoodin valinta, varajärjestelmän moodi ja niihin liittyviä asetuksia kuten astronomisen ohjauksen kellon poikkeamat ja automaattimoodin valotason rajat sytyttämiseen ja sammutukseen.

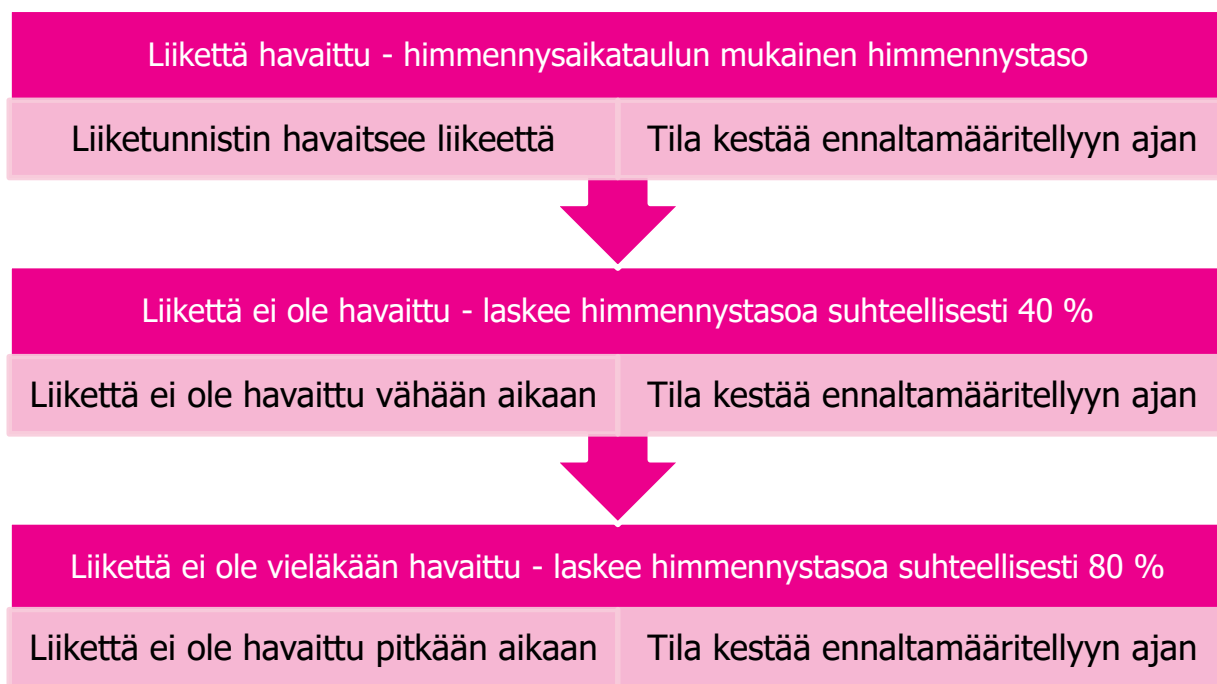
Seuraavassa kappaleessa käsitellään tarkemmin mitä ovat nämä toiminnot ja miten ne toimivat. Kappaleen nimi on Käyttöliittymän toiminnot.

10.3.3 Käyttöliittymän toiminnot

Käyttöliittymän toiminnot jakautuvat älykkään valaisinverkon ohjausmoodeihin ja suoriin komentoihin valaisinkohtaisille laittelle. Keskitinlaitteella toiminnot keskittyvät ohjaustiloihin ja energian säästämiseen. Keskitinlaitteen toimintojen toimintaperiaate perustuu releohjaukseen. Releohjauksen tarkoitus on hallita valaisimille ohjattua virtaa. Valaisinkohtaisille ohjaimille tarkoitetut komennot muuttavat laitteen toimintaa asetettavilla parametreillä. Parametrit vaikuttavat SmartLumo-ohjaimen sisäänrakennettuihin ominaisuuksiin.

Kappaleessa käsitellään etäohjauksen kokeiltuja ja tunnettuja toimintoja. Kaikkia etäohjauksen toimintoja ei ole kokeiltu, joten niitä ei käsitellä kappaleessa.

Älykkään valaisinverkon ohjausmoodeja on manuaali, automaatti, aikataulu ja astronominen. Manuaaltilassa itsenäiset toiminnot ovat poissa käytössä. Käytännössä tällöin valaisinverkko pitää asetetun himmennystason. Automaatti-, aikataulu- ja astronomitilassa valaisinkohtainen Smartlumo-ohjain käyttää siihen liitettyä liiketunnistinta ja himmennysaikataulua.



Kuva 34. Liiketunnistuksen tilojen toimintaperiaate.

Kuvassa 34 on esitetty liiketunnistuksen tilojen toimintaperiaate. Kun liiketunnistin havaitsee liikettä, tilaksi muuttuu "liikettä havaittu". Tila asettaa valaisimen himmennysaikataulun mukaiseen himmennystasoon. Tila on aktiivinen ennaltamääritellyn ajan. Esimerkiksi minuutin. Minuutin jälkeen tilana on "liikettä ei ole havaittu". Tilassa valaisimien himmennystasoa lasketaan suhteellisesti 40 %. Tilassa säästyy noin 40 % "liikettä havaittu"-tilaan verrattuna energiaa. Tila on aktiivinen ennaltamääritellyn ajan. Esimerkiksi minuutin. Minuutin jälkeen tilana on "liikettä ei ole vielä havaittu". Tila asettaa valaisimen loppulliseen energian säästötilaan, josta se herää liikettä havaittaessa. Tilassa säästyy noin 80 % energiaa verrattuna "liikettä havaittu"-tilaan.

Himmennysaikataulu määrittä valaisimille viikon eri päville erillinen himmennysaikataulun. Yhden päivän himennysaikataulu sisältää 6 eri himmennystasoa päivää kohden. Himmennysaikataulua varten luodaan himmennystasot. Himmennystasoja on 10. Esimerkki himmennystasoista on seuraava:

Himmennystaso	Himmennystaso (%)
0	0 %
1	20 %
2	30 %
3	40 %
4	50 %
5	60 %
6	70 %
7	80 %
8	90 %
9	100 %

Taulukko 1. Himmennystasojen rakenne.

Taulukossa 1 on esitetty esimerkki himmennystasoista. Himmennystasot määritellään numeroille 0-9. Jokaiselle numerolle on määritelty himmennystaso prosentteina. 100% tarkoittaa on täyttä tehoa.

Himmennysaikataulussa viesti muodostuu yhdistämällä viikonpäivän, himmennystason, alkamisajan ja himmennystason kesto minuuteissa. Esimerkkinä yhdestä himmennystasosta on seuraava: Mon, 1,02:00,60. Maanantaina kello 02:00 tulee voimaan himmennystaso 1, joka kestää 60 minuuttia.

Automaattitila yhdistää keskitinlaitteen ja SmartLumo-ohjaimen toimintoja. Automaattitilassa keskitinlaite seuraa ympäristön kirkautta valaistus sensorilla. Automaattitilan asetuksina on sytytys ja sammutustaso. Taso määritellään Lux-yksikössä.

Aikataulutilassa SmartLumo-ohjaimet toimivat itsenäisesti. Energian säästöä varten aikataulutilalle määritellään energiansäästö ohjelma. Ohjelma ohjaa keskitinlaitteen relettä. Releellä on tarkoitus hallita virrankulkua valaisimille.

Astronomitilassa keskitinlaitteen relettä ohjataan astronomisen kellon mukaisesti. Releellä on tarkoitus hallita virrankulkua valaisimille. Astronomiselle kellolle voi asettaa poikkeamajat, joilla voi hallita valojen päälläoloa.

Manuaalitilassa SmartLumo-ohjain ei toimi itsenäisesti. Ohjaimelle voi yksi toiminto käytössä. Toiminto on himmennystaso. Manuaalitilassa ohjain ylläpitää asetetun himmennystason, kunnes ohjaimelle määritellään uusi himmennystaso.

10.4 Etäohjauksen kokeelliset toiminnot

Etäohjauksen kokeelliset toiminnot ovat ratkaisu etäohjauksen toteuttamiseen automaattisesti. Etäohjauksen toiminnot toimii C2 Smartlight:n tuotantoratkaisussa puhelinpalvelulla tai käyttöliittymän välityksellä. Opinnäytetyön tarkoituksena on luoda automatisoitu ratkaisu valaisimien ohjelmointiin. Kokeelliset toiminnot mahdollistavat etäohjauksen automatisoinnin toteuttamisen.

Kokeelliset toiminnot ovat ohjausjärjestelmän toimittajan sisäinen järjestelmä tuotteiden testaamiseen. Neuvottelun tuloksena kokeelliset toiminnot tulivat Savonia-ammattikorkeakoulun käyttöön. Kokeellisten toimintojen toimintaperiaatetta ja komentojen muodostusta käytiin läpi yhdessä ohjausjärjestelmän toimittajan kanssa. Komentojen muodostus on C2 Smartlight:n ja Savonia-ammattikorkeakoulun välinen salaisuus.

Kokeellisten toimintojen toimintaperiaatteena on lähettää komento suoraan taustapalvelulle. Taustapalveluna sijaitsee ohjausjärjestelmän toimittajan palvelimella. Taustapalvelu toimii keskitinlaitteen ja komennon lähettävän laitteen välissä. Taustapalvelu välittää komennon keskitinlaitteelle. Keskitinlaite välittää valaisinkohtaisten ohjaimien komennot ZigBee-moduulilla.

Kokeelliset toiminnot tukevat kaikkea, mitä tuotantokäyttöön suunnatulla käyttöliittymällä voi toteuttaa. Komennot ovat monimutkaisia. Monimutkaisuuden vuoksi vain älykkäälle ohjaukselle tärkeimmät toiminnot ovat opeteltu. Toimintoja on manuaalitila, automaattitila, himmennystason asetus, liiketunnistuksen tila, liiketunnistuksen tilojen himmennystason vähennys, himmennystaso, himmennysaika-
taulu ja releen ohjaus.

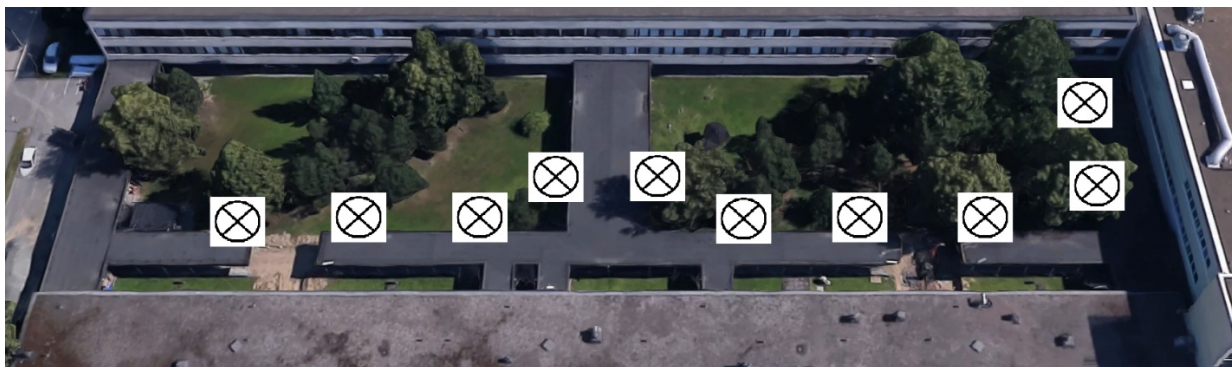
Toiminnot mahdollistavat älykkään valaistuksen ohjauksen demon toteuttamisen. Toimintoja on käytetty älykkään ohjauksen C#-luokkakirjastossa.

11 LED-VALAISIN VERKON RAKENTAMINEN

Älykkäiden LED-valaistuksen kehittäminen edellyttää valaistavaa aluetta. Valaistavalle alueelle asennetaan LED-valaisimia. LED-valaisimissa on valaisinkohtainen ohjain. Valaisinkohtainen ohjain on langaton, joten ohjaimien välille ei tarvitse asentaa erillistä langallista ohjausväylää.

Valaisimien sijoittelu määräytyy langattoman valaisinkohtaisen ohjaimen mukaan. Ohjaimet muodostavat itsejärjestäytyvän ZigBee-verkon. Verkko on laajentuva, kun kukin valaisinkohtainen ohjain on vähintään yhden valaisinkohtaisen ohjaimen kantoalueella. Verkon topologia on P2P, joka mahdollistaa kommunikoinnin toiseen laitteeseen reitittämällä kommunikation muiden laitteiden kautta. Monista laitteista muodostuvan P2P-topologiaa kutsutaan myös nimellä MESH-verkko.

Kun valaisimet sijoitellaan toistensa valaisinkohtaisten ohjaimien ehdoilla, ne voivat muodostaa minkä tahansa muotoisen verkon. Ensimmäisen ja viimeisen valaisimen välisen matkan määrittää rikoitumaton ketju valaisimia toistensa kantoalueella ja verkon laitteiden enimmäismäärä.



Kuva 35. Valaisimien sijainnit Savonia-ammattikorkeakoulun Opistotien kampuksen sisäpihalle.

Kuvassa on 35 on esitetty LED-valaisimien sijainnit Savonia-ammattikorkeakoulun Opistotien kampukselle. Opistotien kampuksen sisäpiha on välittömässä läheisyydessä, joka helpottaa LED-valaisimien kokeilemista ja ratkaisujen kehittämistä.

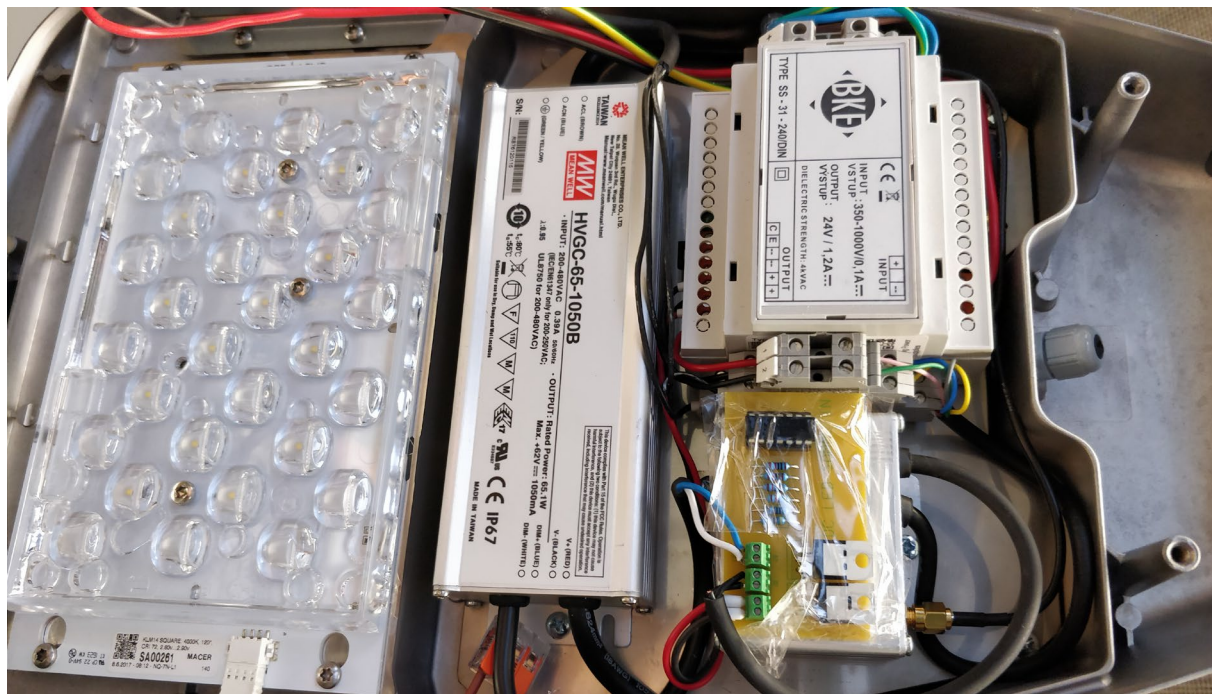
LED-valaisimet on rakennettu DC-aluevalaistus hankkeessa, jossa sähkön syötössä käytetään DC-sähköä. Hanke on nimennyt sähkönsyöttön termillä HVDC (High Voltage Direct Current), joka tarkoittaa korkea jännitteistä DC-sähköä.

LED-valaisimet on sijoitettu sisäpihalle niin, että ne valaisevat käytetyimpiä kulkureittejä katoksen alla. Kulkureitit kulkeavat Opistotien kampuksen A-, B- ja C-osien välillä. Kulkureitit luovat potentiaalisen ympäristön älykkään ohjauksen kehittämiseen.

LED-valaisimet muodostavat kokonaisuudessaan kapean ja pitkän verkon, jonka muoto muistuttaa katoksen muotoa.

11.1 LED-valaisimen varustaminen valaisinkohtaisella ohjaimella

LED-valaisimet on erityisesti rakennettu toimimaan tasavirtasähköllä. Suunnittelussa on erityisesti huomioitu korkeajännitteinen tasavirtasähkö. LED-valaisimen paneeli ja runko ovat alkuperäisiä, mutta kaikki muu on rakennettu toimimaan korkeajännitteisellä tasavirtasähköllä.



Kuva 36. LED-valaisimeen asennettu langaton valaisinkohtainen ohjain.

Kuvassa 36 on esitetty LED-valaisimen komponentit sisäpuolella. LED-valaisimien komponentit muodostuu LED-paneelistä, LED-paneelin virtalähteestä, 24 Voltin virtalähteestä, SmartLumo-ohjaimesta ja piirikortti ratkaisu valon sammuttamiseen. Piirikortti ratkaisu valon sammuttamiseen mahdollistaa täydellisen pimentämisen myös 0/1-10 Voltin jänniteohjauksella.

24 Voltin virtalähde syöttää sopivaa jännitettä SmartLumo-ohjaimelle ja piirikortti ratkaisuun. LED-paneelin virtalähde käyttää suoraan korkeajännitteistä tasavirtasähköä. 24 Voltin virtalähde ja LED-paneelin virtalähde käyttää aktiivisesti ohjattua hakkuritekniikkaa, jossa tasavirtasähkön tasoa muutetaan eri tasolle energiatehokkaasti.

LED-paneelin virtalähdettä ohjaa 0/1-10 Voltin jännitesignaali. Se on liitetty SmartLumo-ohjaimen piirikortti ratkaisun välityksellä. Sisäpihalle asennetut valaisimet asennettiin ennen piirilevy ratkaisun toteutusta, joten ne eivät sisällä piirilevyä.

DC-aluevalaistus hankeessa Jyväskylässä pidettyissä SähköValoTeleAv-messuille vietiin Accukukko-tuote, jonka valaisimissa on piirilevy ratkaisu käytössä.

11.2 Valaisimen asennus

LED-valaisimet asennettiin Opistotien kampuksen sisäpihan katosta tukeviin H-pilareihin. Jokaista LED-valaisinta kohden on liiketunnistin. Valaisimen energianlähteenä on korkeajännitteinen tasavirta.



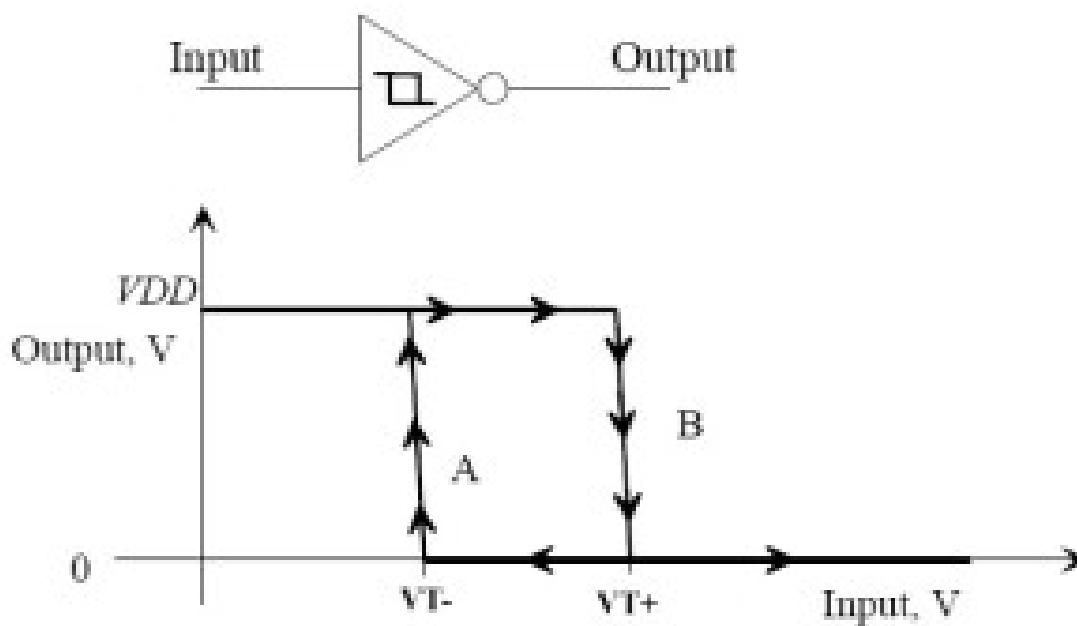
Kuva 37. LED-valaisin asennettu Opistotien kampuksella.

Kuvassa 37 on kuvattu LED-valaisimen asennus katosta tukevaan H-profiliseen tukeen. Opistien kampuksella. Katoksen sisäpuolella kulkee HVDC-sähkönjakelu linja. Sähkönjakelu linja on yhteinen Opistotien kampuksen sisäpihalle rakennetulle LED-valaisimille. LED-valaisimet saa tarvitsemansa energiat sähkönjakelu linjan väliin asennetuilla jakorasioilla. Jakorasia kytkee LED-valaisimen rinnan sähkönjakelu linjaan.

Valaisinkohtainen liiketunnistin perustuu PIR-tekniikkaan. PIR-tekniikassa sensori vastaanottaa objekteista säteilevää infrapunavaloa. Vastaanotetun signaalin muutoksesta sensorin havaitsee liikettä.

12 SCHMITT-LIIPAISIN

Schmitt-liipaisin on komparaattorikytkentä, jonka ominaisuutena hysteeritila liipaisu tason ympärillä. Hystereesissä Schmitt-liipaisimen tila ei muutu. Tämä ehkäisee häiriöiden vaikutusta komparaattorin referenssi signaalissa, josta halutaan muuntaa kanttiaalloksi. Kanttiaaltoa voi käyttää ohjaamiseen on/off-menetelmällä. (Dejan, 2019)



Transfer characteristics of a Schmitt trigger

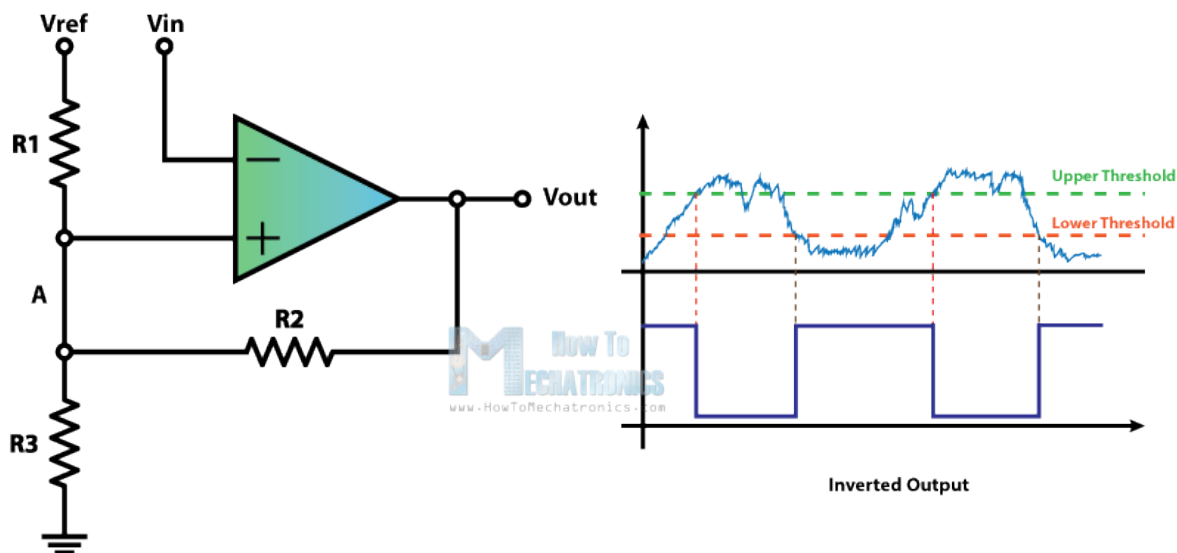
Kuva 38. Hysteesi-ilmiö Schmitt-liipaisimessa. (Ecetutorials, 2019)

Kuvassa 38 on esitetty Schmitt-liipaisimen toiminta. Sen ulostulo on invertoitu. Hystereesiksi kutsutaan ilmiötä, jossa kytkentä vaihtaa ulostulon tilaa suuremmalla sisääntulo jännitteellä jänniteen noustessa kuin sen laskiessa. Tämän vuoksi hystereesillä on kaksi liipaisu jännitettä, jotka ovat suurempi V_{t+} ja pienempi V_{t-} . Vertailujänniteen laskiessa alle V_{t-} -tason Schmitt-liipaisimen ulostulo on negatiivinen. Vertailujänniteen ollessa yli V_{t+} - tason Schmitt-liipaisimen ulostulo on positiivinen. Ulostulo on invertoitu, joten ulostulon signaali on päinvastainen. Ulostulon jännitetason rajat ovat maa 0 V ja V_{DD} -syöttöjännite. (Ecetutorials, 2019)

Takaisinkytkentä-järjestelmä muodostuu vahvistuskertoimesta A ja takaisin kytkennän termistä β . Asettamalla silmukan vahvistuksen yhteen ulostulon kanssa, jolloin takaisinkytkennän vahvistuksesta tulee ääretön. Tämän tuloksena on ääretön muutos ulostulon ääriarvojen välillä. Schmitt-liipaisin on yksi monista kytkennöistä, joita voi kutsua vakaaksi epävakaaiksi värähtelijäksi, koska sillä on kaksi tilaa. Tilat ovat positiivinen ja negatiivinen ääriarvo. (Ecetutorials, 2019)

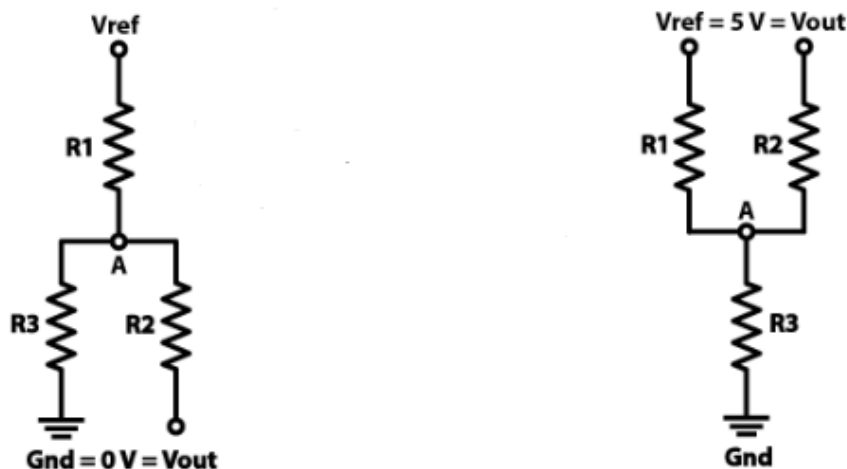
12.1 Schmitt-liipaisin operaatiovahvistimella/komparaattorilla

Schmitt-liipaisimen voi toteuttaa logiikka mikropiireillä, joissa on sisäänrakennettuja Schmitt-liipaisimia, mutta voi rakentaa käyttämällä transistoreita tai helpommin käyttämällä operaatiovahvistinta tai komparaattori lisäämällä muutaman vastukseen ja positiisen takaisin kytkennän.



Kuva 39. Schmitt-liipaisimen peruskytkentä ja toiminta ajan funktiona. (Dejan, 2019)

Kuvassa 39 on esitetty Schmitt-liipaisimen peruskytkentä operaatiovahvistimella toteutettuna. Se muuntaa analogisen jännitesignaalin kanttiaalloksi. Olettamalla arvot Vref-referenssijännitteelle ja Vcc-syöttöjännitteelle voidaan laskea hystereesi tilan ala- ja yläraja. Rajat muodostuvat A-noodin jännitteestä. Vin on verrattava arvo, joka tulee signaalilta. Vref on referenssiarvo, joka määrittää Schmitt-liipaisimen aktivoitumisjännitteen. Takaisinkytkentä ulostulolta vaikuttaa Vref jännitteen arvoon, joka luo hystereesin R1, R2 ja R3 vastuksilla.



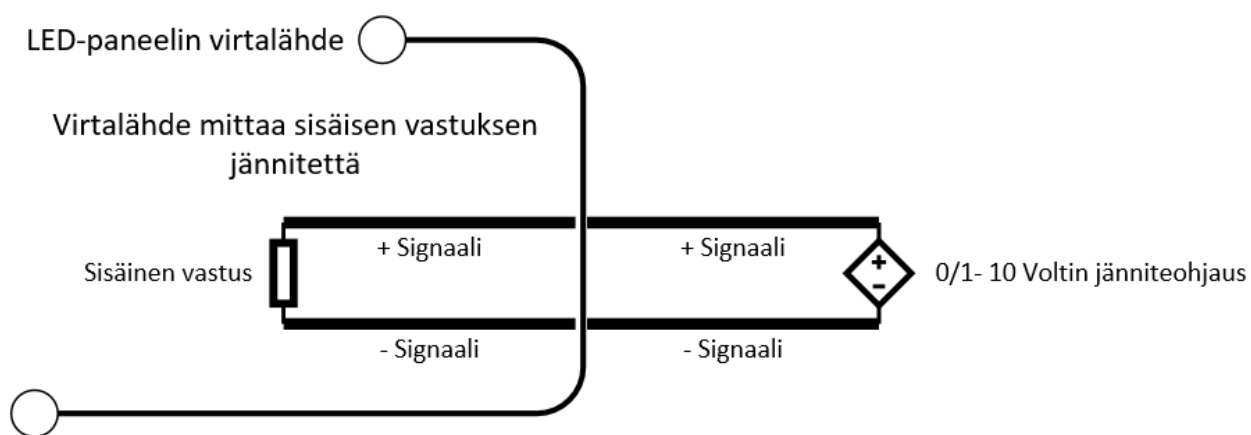
Kuva 40. ylä- ja alarajan ääriarvojen muodostama jännitteen jako vastuksilla. (Dejan, 2019)

Kuvassa 40 on esitetty Smithin-liipaisimen kytkentä. Ulostulon takaisinkytkentä vaikuttaa A-noodin jännitteeseen ja kokonaiskytkentään. Vasemmalla on kytkentä ulostulon ollessa maahan vedetty ja oikealla ulostuloon takaisin ulostulo on aktiivinen.

13 ELEKTRONIIKKAAN PERUSTUVA PIIRILEVY RATKAISU VALON SAMMUTUKSEEN.

Tarve valon sammutukseen ratkaisuun lähti 0/1-10 Voltin jänniteohjauksen toiminnasta. Jänniteohjauksen tarkoituksen ei ole sammuttaa valaisinta. Jänniteohjauksessa alin jännitteen taso SmartLumo-ohjaimilla on noin 0,5 Voltin tasavirtajännite signaali.

DC-aluevalaistushankkeessa on ideana kehittää tasavirtaa perustuva sähkönjakelujärjestelmä, joten sähkönjakelua ei voi katkaista, jos on tarvetta sammuttaa LED-valaisimet. Ominaisuutena katkeamattoman sähkönjakelun yhteydessä tulee valaisimien jatkuva päälläolo.



Kuva 41. Jänniteohjauksen toimintaperiaate.

Kuvassa 41 on esitetty Jänniteohjauksen toimintaperiaate. LED-paneelin virtalähteellä on sisäinen vastus, joka rajoittaa läpikulkevaa virtaa. Virtalähde mittaa sisäisen vastuksen jännitettä. Sisäisen vastuksen jännitteen nollaus tapahtuu oikosulkemalla + ja – signaali.

Signaalin oikosulkemisessa on vaarana virran nousevan suuremmaksi kuin SmartLumo-ohjain on suunniteltu. Yksinkertaisin menetelmä rajoittaa virtaa on käyttää vastusta sarjaan kytkettynä jänniteohjauksen +signaalissa. Virranrajoitus vastuksen käyttö aiheuttaa jännitteen jakoa jänniteohjauksessa, joka näkyy alentuneena jänniteenä sisäisessä vastuksessa.

Jännitesignaalin tason perusteella ohjataan jännitesignaalin oikosulkemista. Kun jännitesignaalin taso alittaa asetetun tason, jännitesignaalin oikosulkeminen aktivoituu. Asetettu taso on enemmän kuin SmartLumo-ohjaimen alin jänniteohjauksen taso, kuitenkin asetetun tason tulee olle tarpeeksi suuri virhetoiminnan välttämiseksi.

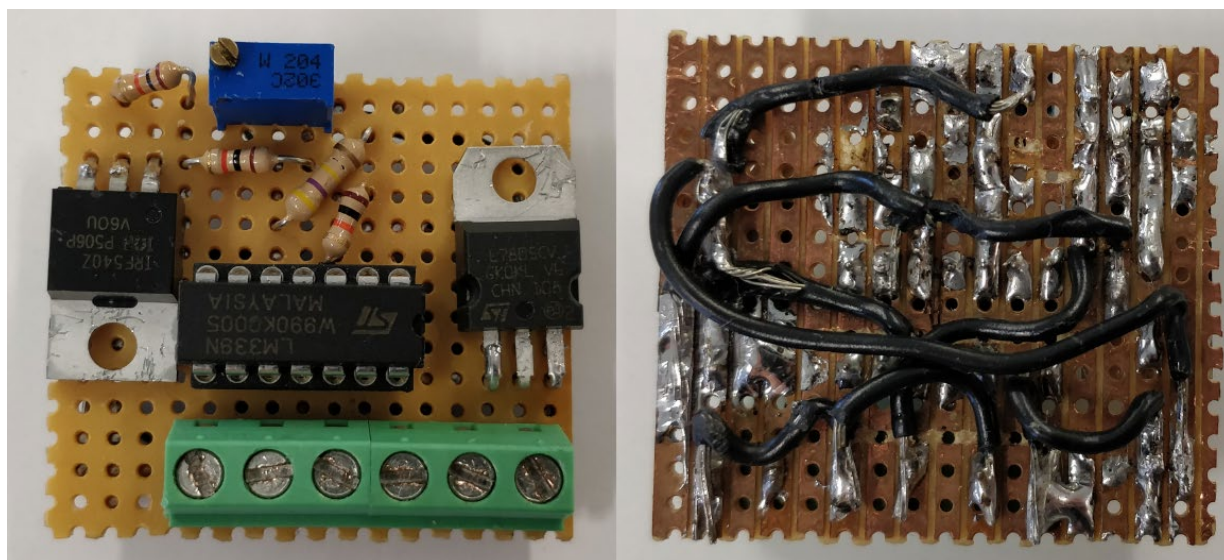
13.1 Piirilevyn prototyyppi

Valon sammutusta jänniteohjauksella suunnittelu LED-paneelin virtalähteen ja jänniteohjausten toimintaperiaatteen mukaan. Prototyypin suunnittelussa on käytetty Savonia-ammattikorkeakoulun Opistotien kampuksella olevia komponenttejä. Suunnittelun apuna on käytetty komponenttien datalehditien suosituskentöjä.

LED-valaisimen sammutuksen ratkaisussa ensimmäisenä vaiheena oli kehittää ratkaisu, joka toimii luotettavasti eikä häiritsevästi vaikuta LED-paneelin virtalähteen toimintaan. Vaihtoehtoisia ratkaisuja on puolijohde diodin käyttäminen tai jänniteohjauksen johdinten oikosulkeminen.

Ensimmäisenä ratkaisuna on käyttää puolijohde diodia. Diodin ominaisuutena on kynnysjännite. Kynnysjännite eliminoi 0/1-10 voltin jänniteohjauksen tason 0 Volttiin, jolloin lamppu sammuu. Kuitenkin diodin kynnysjännite vaikuttaa myös jänniteohjauksen suurimpaan tasoon pudottamalla sitä kynnysjännitteen verran. Toisena ratkaisu on jänniteohjauksen johdinten oikosulkeminen. Ratkaisu sisältää monia komponenttejä, mutta jänniteohjauksen suurin jännitäsä pysyy lähellä sen alkuperäistä tasoa, jolloin valaistusvoimakkuus on suurempi kuin käyttämällä puolijohde diodia.

LED-valaistuksen valovoimakkuus on tärkeä ominaisuus, joten valintana on jänniteohjauksen johdinten oikosulkeminen valaisimen sammuttamiseksi.



Kuva 42. LED-valaisimen sammutus ratkaisun prototyyppiversio.

Kuvassa 42 on kuvattu prototyyppi piirilevy LED-valaisimen sammutukseen. Sammutus ratkaisun kehityspohjasta on kytkentälevy pitkittäisillä juotosliuskoilla. Kytkentälevy mahdollistaa erilaisten kytkentöjen kokeilemisen prototyyppivaiheessa. Apuna kytkentöjen toteuttamisessa on hyppyjohtojen käyttäminen ja juotosliuskojen katkaiseminen tarkoitukseen sopivaksi. Lopputulos prototyyppiversiosta on ulkoisesti sekava. Prototyypin tarkoituksena on testata toimintaperiaate, joten ulkoinen olemus ei vaikuta tässä tapauksessa.

Oikosulkemiseen käytetään N-kanavaista MOSFET-transistoria, joka on rakennettu ohjautumaan matalalla jänniteellä. Niin sanottu Logic Level MOSFET. Sisään tuleva 24 Voltin jännite muunnetaan 5 Voltin tasolle lineaarisella jänniteregulaattorilla. 5 Voltin jännitettä käytetään operaatiovahvistimessa ja MOSFET-transistorissa. Jännitesignaalia oikosulkevaan MOSFET-transistoria ohjataan Schmitt-liipaisimen ulostulolla.

Piirilevyn Schmitt-liipaisimessa käytetään komparaattoria. Komparaattori on LM339N-mikropiiri. Mikropiiri sisältää neljä komparaattoria. Vain yksin näistä on käytössä. Komparaattoriin kytkennässä sovelletaan Schmitt-liipaisimen toteutusta komparaattorilla. Prototyypissä Schmitt-liipaisimen liipaisutsoa säädetään ruuvimeisselillä sinisestä potentiometrillä.

Prototyypin tarvitsema syöttöjännite, jänniteohjauksen signaali ja LED-paneelin virtalähteen jänniteohjauksen signaali liitetään piirilevyyn käyttämällä ruuviliittimiä.

Prototyyppi piirilevyn perusteella on kehitelty tuotantoversio. Siinä käsitellään yksityiskohtaisesti piirilevyn komponenttien kytkentä. Prototyyppi vastaa suurelta osin tuotantoversiota.

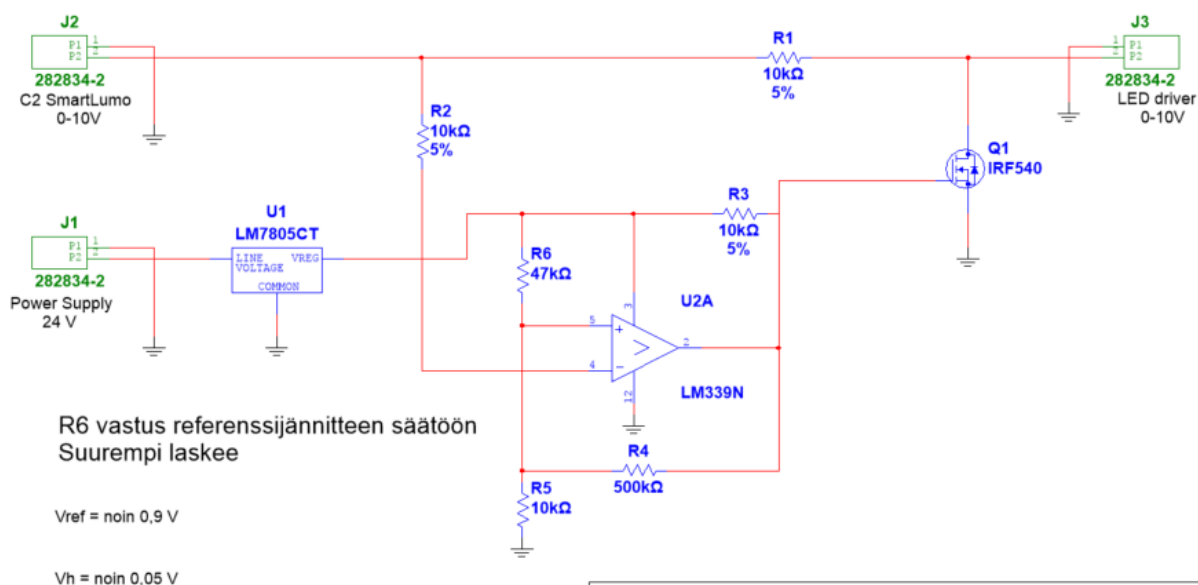
Prototyypin rakentaminen tapahtui käyttämällä yrityksen ja erehdys menetelmää, koska elektroniikan tietämys oli puutteellinen operaatiovahvistimen käytöstä työn alkaessa.

13.2 Piirilevyn tuotantoversio

Piirilevyn tuotantoversio perustuu prototyypilevyyneen. Prototyypilevystä on otettu sen toiminta periaate ja parannettu kytkentään. Tuotantoversio on suunniteltu Multisim-ohjelmalla. Multisim-ohjelma mallinnetaan ja simuloidaan kytkennän toimintaa.

Simulointi on tehokas työkalu kehitykseen. Simuloinnilla kytkentään voi kokeilla erilaisia komponentteja ja simuloida niiden toiminnan yhdessä. Toiminnan perusteella komponenttien arvoja voi vaihtaa helposti ja kokeilla uudestaan toimintaan uusilla komponenteilla, kunnes toiminta vastaa odotuksia.

13.2.1 Kytkentäkaavion toteuttaminen



Savonia-ammattikorkeakoulu Opistotie 2 Kuopio, Suomi (017) 255-5014		 SAVONIA AMMATTIKORKEAKOULU	
Title: DCLED sammutus	Desc.: LED valaisimen sammutus ohjeella ollessa minimi		
Designed by: Timo Lassila	Document No: 1	Revision: 1.0	
Checked by:	Date: 14.3.2019	Size: A4	
Approved by:	Sheet 1 of 1		

Kuva 43. Piirilevyn tuotantoversion kytkentäkaavio.

Kuvassa 43 on tuotantoversion yksityiskohtainen kytkentäkaavio. Piirilevyn eri komponentteja on ruuviliitin, lineaarinen jänniteregulaattori, komparaattori, vastus ja MOSFET-transistori. Johdot piirilevyyneen kiinnitetään käyttämällä ruuviliittimiä, jotka on merkitty kytkentäkaavioon J tunnuksella.

SmartLumo-ohjaimen 0/1-10 voltin jänniteohjauksen signaali on kytketty suoraan LED-paneelin virtalähteen jänniteohjauksen johtimiin. Vastus R1 rajoittaa SmartLumo-ohjaimelta kuormitettavaa virtaa jännitesignaalin oikosulkutilanteissa. MOSFET-transistori on kytketty jännitesignaalin + signalin ja maan väliin. Se toimii elektronisena toteutuksena yhdistää jännitesignaalin + ja - signaali. Oikosulkutilanteissa R1 vastus rajoittaa läpi kulkevaa virtaa, ettei se vaikuta SmartLumo-ohjaimen toimintaan haittaavasti.

MOSFET-transistori ja LM339N-komparaattori käyttöjännite on 5 V, joka on tuotettu lineaarisella regulaattorilla 24 Voltin syöttöjännitteestä. Komparaattorin virransyöttö on kytketty 5 Voltin ja maan väliin, jolloin sen antama ulostulon jännite alue 0-5 voltia. Vastus R3 toimii ylösvetovastuksena, joka varmistaa komparaattorin ulostulon ylärajan olevan hyvin lähellä virransyöttöä. Komparaattorin ulostulon ollessa 0 voltia, jolloin vastuksen R3 rajoittama virta kulkee komparaattorin ulostuloon vahingoittamatta sitä. Komparaattorin ulostulo ohjaa MOSFET-transistoria jänniteellä sen kantaan.

LM339N-komparaattorin kytkentä vastaa Schmitt-liipaisimen peruskytkentään. Komparaattorin negatiiviseen sisääntuloon on kytketty SmartLumo-ohjaimen jänniteohjauksen signaali vastuksen R2 kautta. Komparaattorin positiiviseen sisääntuloon on kytketty referenssijännite, joka on tuotettu 5 Voltin jännitteestä. Vastusten R4, R5 ja R6 arvoja muuttamalla Schmitt-liipaisimen hystereesin ja liipaisujännitteen arvot vaihtuvat. SmartLumo-ohjaimen jännitesignaalin on kytketty kääntäen komparaattoriin. Kun jännitesignaalin alittaa referenssijännitteen, komparaattorin ulostulo on aktiivinen. Komparaattorin ulostulon ollessa aktiivinen MOSFET-transistori oikosulkee jännitesignaalin + ja – signaalin.

13.2.2 Piirilevyn suunnittelu kytkentäkaavion perusteella.

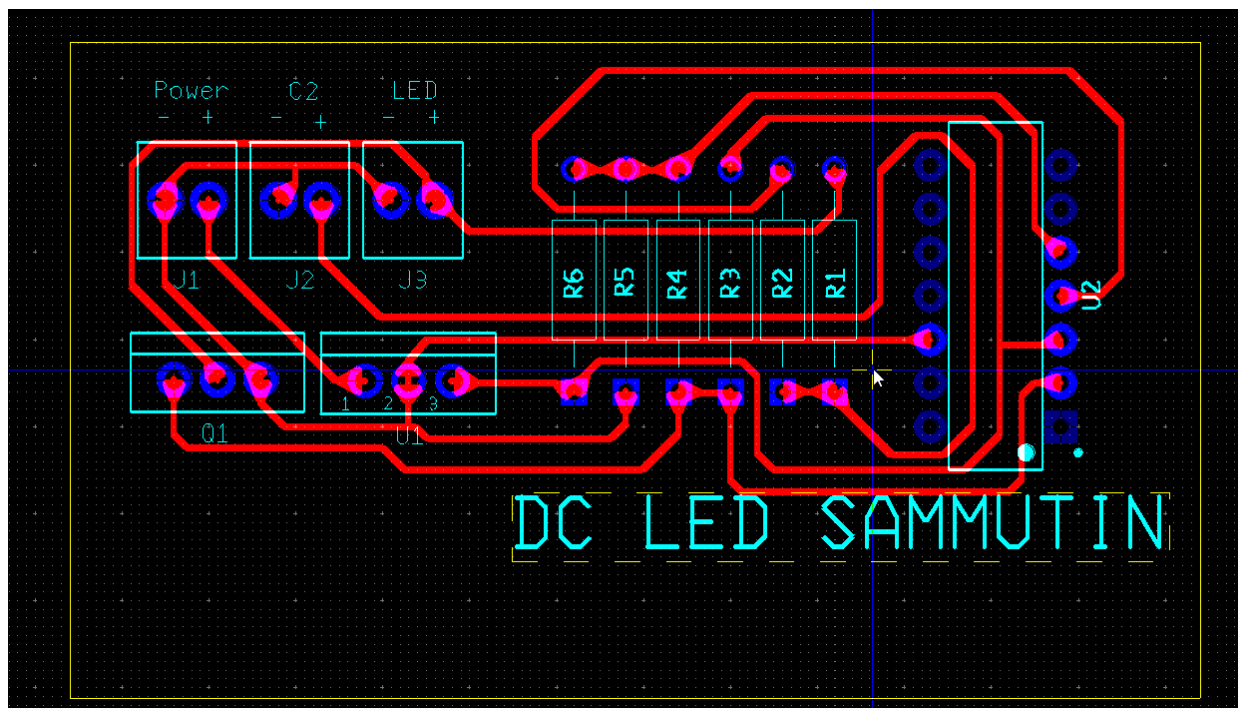
Piirilevyn kytkentäkaavion valmistumisen jälkeen voi aloittaa varsinaisen piirilevyn toteutuksen suunnittelun. Piirilevyn toteutusta suunniteltaessa tavoitteena on tavoitella johdotuksen toteutusta mahdollisimman tehokkaasti. Se tarkoittaa johdetasojen tehokasta tilankäyttöä.

Multisim-suunniteluohjelmisto on monipuolinen. Ohjelmistolla voi suunnitella kytkentäkaavion ja tuoda sen piirilevyn suunnitteluun. Piirilevyn suunnittelussa ensimmäisenä komponentit sijoitellaan piirilevylle, jonka jälkeen piirikaaviossa määritellyt kytkennät komponenttien välissä johdotetaan. Ohjelmistolla voi suunnitella piirilevyn kustannustehokkaasti. Hyvinsuunnittelussa piirilevyssä tarvittavia johdetasoja on vähemmän ja sen yleinen rakenne on looginen.

Piirilevyn valmistuksen kustannukset muodostuvat monesta tekijästä. Isoimpana yksittäisenä tekijänä on piirilevyn valmistusmallin tekeminen. Itse yksittäisen piirilevyn valmistamisen kustannukset ovat huomattavasti pienemmät. Suuria eriä tilaamalla kappalehinta piirilevyllä pienenee. Piirilevyn valmistuksen tekijöitä on materiaali, koko, johdintasojen kuparin paksuus, johdintasojen määrä, johdinpintojen viimeistely ja piirilevyn jälkikäsitteily. Johdintasojen viimeistelyllä tarkoitetaan niiden pinnoittamista. Pinnoitemateriaalina voi olla esimerkiksi hopea tai kulta. Laadukan pinnoitemateriaali mahdollistaa hyvin johtavan liitoksen.

13.2.3 Piirilevyn johdotuksen suunnittelu

Piirilevy on suunniteltu Multisim-suunnitteohjelmiston Utilboard-ohjelmalla. Utilboard-ohjelma tarjoaa suunnitteluun avustavia työkaluja. Merkittävästi avustava työkalu on automatisoitu johdotusten suunnittelu. Se antaa johdotusten suunnitteluun hyvän pohjan. Kuitenkin tulee muistaa automaattisen työkalun johdotuksen tarkastaminen.



Kuva 44. Piirilevyn tuotantoversion piirilevyn suunnittelu yhdellä kerrokselle.

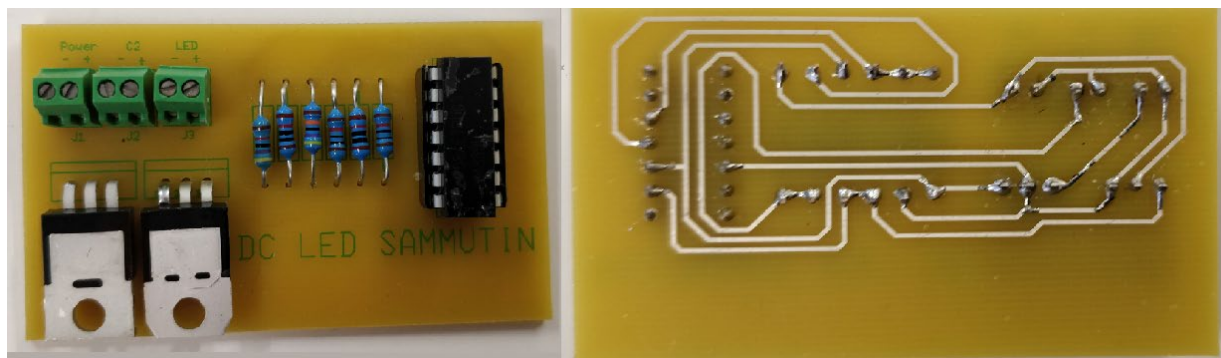
Kuvass 44 on piirilevyn johdotuksen suunnittelun tulos. Johdotus on sijoitettu yhteen johdekerrokseen. Johdotuksen suunnittelussa automaattinen työkalu auttoi paljon. Johdotuksen loppulliseen tulokseen edellytti optimaalisen sijoittamisen hakemista. Esimerkiksi kääntämällä komponentin asento piirilevyllä, joka mahdollisti johdotuksen toteuttamisen yhdelle johdinkerrokselle.

Johdotuksen suunnittelussa erityisesti huomioitavia asioita on 90 asteen kulmien välttäminen. 90 asteen mutkien toteuttaminen kahdella 45 asteen mutkalla parantaa johdintason johtavuutta. Kytken-täisteissä käytetään niin sanottua teardrop-ominaisuutta, jolla johdotuksen kontaktia komponentin jalkaan optimoidaan. Piirilevyn komponentit ovat läpiasennettavia, eli komponenteilla on piirilevyn läpi porattu reikä. Komponenti asennetaan levyn toiselta puolelta juottamalla.

Piirilevyt teetettiin suomalaisella Prinell Oy yrityksellä. Piirilevyn teettämiseksi he vaativat piirilevyn tiedostojen olevan gerber 247- tai gerber 247-x formaatissa. Vaadittuja tiedostoja oli johdetasot, komponentin sijoittelutaso, poraus excellon formaatissa ja mitoituspiirustus. Multisim-ohjelmistolla vaadittujen tiedostojen luonti oli helppoa.

13.2.4 Piirilevyn komponenttien asentaminen

Piirilevyt tulevat valmistajalta ilman komponenttien asennusta. Piirilevyllä on komponenttien sijoittelutaso ja 1 kerros johdetasoa. Piirilevyn tullessa valmistajalta se on valmis komponenttien asentamiseen.



Kuva 45. LED-valaisimen sammutus ratkaisun tuotantoversio.

Kuvassa 45 piirilevyyn on juotettu komponentit. Komponentit asennetaan piirilevyyn työstettyjen reikien läpi niiden jalat edellä. LM339N-komparaattori asennetaan piirilevyllä työntämällä se juotettuun 14 pinniseen kantaan. Komponenttien asennuksessa noudatetaan sijoittelutason merkintöjä, joka kertoo asennettavan komponentin tunnisteen. Asennettavan komponentin voi tarkistaa tunnisteen perusteella kytkentäkaaviosta tai komponentti luottelestosta.

13.2.5 Piirilevyn lopputarkistus

Komponenttien asennuksen jälkeen tarkastetaan ulkoisesti. Ulkoiseen tarkistukseen kuuluu juotosten laadun tarkistus ja komponenttien sijoittelun tarkistaminen. Ulkoisen tarkistuksen jälkeen tarkistetaan asennusten sähköinen kontakti yleismittarilla.

Ulkoisessa tarkituksessa tärkeintä on juotosten laadun tarkistaminen. Hyvässä juotoksessa sen muoto on pisaran muotoinen, ja se on levittäytynyt johteen leveyiseksi pyöreäksi alueeksi. Kylmä juotos on huonolaatuinen juotos. Siinä komponentin juottaessa juotos tina ei ole kiinnittynyt johteeseen, koska sitä ei ole lämmitetty tarpeeksi. Kylmäjuotoksessa juotos voi näyttää hyvälle, mutta kuitenkin sen sähköinen kontakti on heikko tai puuttuu kokonaan.

Sähköisen kontaktin kunnosta kertoo komponenttien välisten johteiden resistanssiarvo. Resistanssin yksikkö on Ohmi. Tavoiteltavan resistanssin arvo on 0 Ohmia, mutta käytännössä johdeaineet vastustavat sähkönkulkua sen läpi. Ilmiötä kuvataan resistiivisyydellä. Resistanssi muodostuu resistiivisyys kerrottuna pituus ja näiden tulo on jaettu johtimen poikkipinta-alla.

Komponenttien välisten johteiden resistanssin mittaukseen käytetään yleismittaria. Yleismittarin mitausjohtimet asetetaan mitattavan johteen välille. Tämä toistetaan, kunnes kaikki johteet ovat takasettu ja ovat kunnossa.

14 OHJAUSKÄYTTÖLIITTYMÄ JYVÄSKYLÄN MESSUILLE

DC-aluevalaistus hankkeessa lähdettiin Jyväskylään SähköValoTeleAv-messuille. Messujen tarkoituksena oli esitellä hankkeessa luotu Accukukko-järjestelmä. Ohjauskäyttöliittymän tavoitteena on olla yksinkertainen käyttöliittymä, jossa järjestelmästä kiinnostuneet messukävijät voisivat kokeilla järjestelmään liitettyjä LED-valoja.

Ohjauskäyttöliittymän suunnittelu alkoi pohtimalla mitä halutaan ohjauskäyttöliittymältä. Pohdinnassa tuli tarpeina sen olevan tarkoitettu etusijalla messuilla kävijöille. Messuilla kävijät käyvät messupisteellä mahdollisesti lyhytaikaisesti, joten ohjauskäyttöliittymän tärkeitä panostamisen kohteita on helppo käyttöönotto, yksinkertaisuus ja selkeys.

Helppossa käyttöönotossa oleellista on ohjauskäyttöliittymän äärimmäisen helppo asentaminen tai ei tarvetta asentaa ollenkaan laitteelle. Toisena on sen yhteensopivuus erilaisille käyttöjärjestelmille ja laitteille. Ohjauskäyttöliittymän toteutukseen potentiaalisemmat ratkaisut ovat mobiilisovellus ja internet sovellus.

Mobiilisovelluksen asentaminen on nopeaa käyttämällä sovelluskauppaa. Sovelluskauppaan voi ohjata esimerkiksi käyttämällä QR-koodia. Kuitenkin mobiilisovellus on yhteensopiva vain älylaitteille, jolloin ohjauskäyttöliittymä ei olisi käytettävissä tietokoneella.

Internet sovellus on saatavilla internetin yli internet sivuna. Internet sovelluksen käyttämiseen riittää laite, jolla on internet yhteys ja internetselain. URL-osoitteella internetselain avaa ohjauskäyttöliittymän nopeasti ilman tarvetta asentaa sovelluksia messuvieraiden henkilökohtaiselle laitteelle.

Internet sovelluksen kehittämiseen on useita suosittuja FullStack-tekniikoita, kuten ASP.NET, PHP, Node.js ja Python Flask. Savonia-ammattikorkeakoululla panostetaan Microsoft-tuotteiden käyttöön, joten opetuksessa on käytetty paljon C#-ohjelmistokieltä. Opiskelun aikana tulleen tietämyksen C#-ohjelmistokielen takia valinta on ASP.NET. ASP.NET on Microsoftin näkemys internetsovelluksen toteuttamisessa. Siinä voi käyttää paljon vastaavaa ohjelmistokoodia ja kirjastoa, kuin muissa C#-ohjelmistoissa. FullStack-ratkaisu sisältää käyttöliittymän ja käyttöliittymää palvelevan taustapalvelun.

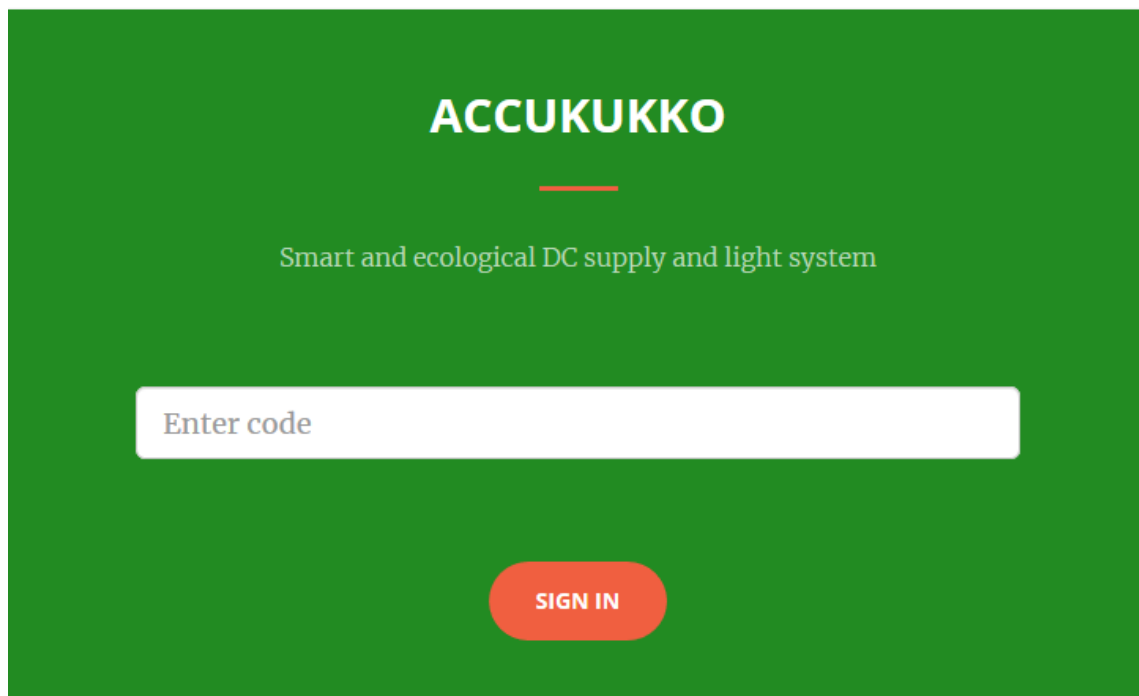
Käyttöliittymä kehitetään ASP.NET-toteuksen sisällä käyttämällä HTML- ja JavaScript-koodia. Käyttöliittymän rakentamiseen on sovelluksen rakentamiseen tarkoitettuja sovelluskehitys paketteja. Sovelluskehitys paketit sisältävät muuan muassa käyttöliittymän tekoon liittyviä JavaScript-funtioita, elementtejä ja sisällön ulkoasun toimintoja.

Sovelluskehityspaketin valintana on Bootstrap 4. Se on suosittu sovelluskehityspaketti HTML-ympäristöön. Sen suosion vuoksi on paljon esimerkkejä käytöstä. Kehityksen aikana käytössä oli paljon itse Bootstrap 4-sovelluskehityspaketin dokumentointi ja W3School-sivusto. W3School-sivustolla on yksityiskohtaisesti esimerkkejä sovelluskehityspaketin käytöstä.

14.1 Ohjauksettöliittymään kirjautuminen

Ohjauksettöliittymään kirjautuminen on ensimmäinen näkymä käyttäjälle. Kirjautumis on suunniteltu olemaan selkeä ja sisältämään vain välttämättömät elementit. Sivun taustaväriä on vihreä, koska tavoitteesta vähentää valaistukseen kuluvaä energiaa.

ACCUKUKKO PROJECT



Kuva 46. Ohjauksettöliittymään kirjautuminen.

Kuvassa 46 on kirjautumisnäkyä ohjauksettöliittymään. Ohjauksettöliittymään kirjautuminen on toteutettu pääsykoodilla. Pääsykoodi ei vastaa käyttäjätunnuksen ja salasanan vahvuutta. Ohjauksettöliittymän toteutuksessa panostuksena on selkeä ja yksinkertainen käyttö, jossa pääsykoodi on nopea ja riittävän turvallinen tapa tuoda käyttöliittymä kokeiltavaksi messujen vierailijoille. Ohjauksettöliittymään kirjaututaan painamalla SIGN IN-nappia.

Messuilla kiinnostuneille kävijöille voi antaa tulostun lapun, jossa lukee pääsykoodi. Pääsykoodin syötämällä messuilla kävijä helposti ja nopeasti on valmis varsinaiseen ohjauksettöliittymän käyttöön.

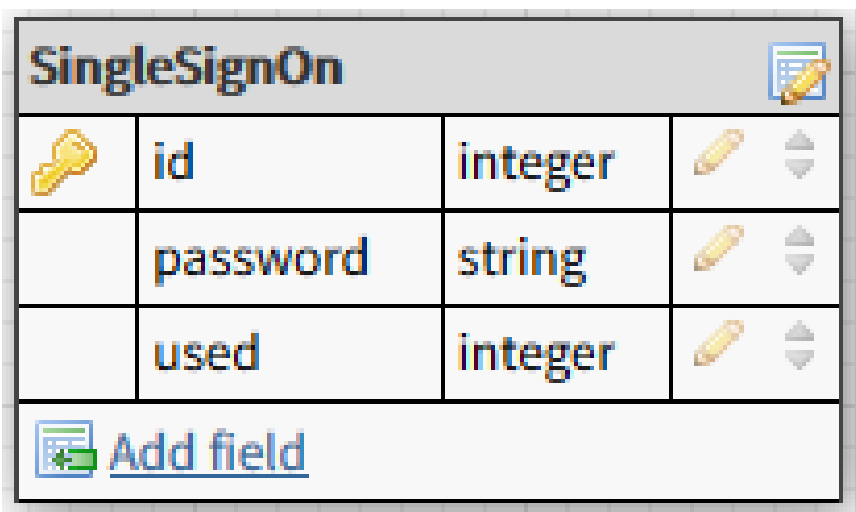
Pääsykoodeja on moni- ja kertakäyttöisiä. Monikäyttöiset pääsykoodit on tarkoitettu kehitykseen ja kokeiluun. Nämä koodit ovat voimassa pysyvästi. Kertakäyttöisiä koodeja jaetaan kiinnostuneille messu vierailijoille, joilla he voivat kokeilla reaaliaikasen ohjauksen toimintaa.









14.1.1 Kertakäyttöisten pääsykoodien toteutus.

Kertakäyttöiset pääsykoodit ovat toteutettu tietokannan avulla. Kertakäyttöisiä pääsykoodeja on paljon, joten tietokanta on käytännöllisin ratkaisu kertakäyttöisten pääsykoodien toteutukseen. Tietokantaan voi milloin tahansa lisätä lisää käyttäjätunnuksia tarpeen tullen.

Pääsykoodien tekeminen on aikaa vievää yksitellen, joten tehokkain ratkaisu on niiden generoiminen palvelulla. Kertakäyttöisiä pääsykoodeja messuille generoitiin Mockaroo-palvelulla. Palvelu generoi CSV-tiedoston generoiduista pääsykoodeista, jonka pystyy viemään suoraan tietokantaan käyttämällä tietokannan hallintaohjelmistoa.

Mockaroo-palvelu on internet sivusto, joka on tarkoitettu testidatana generointiin. Palvelu luo realistista testidataa. Palvelu tarjoaa käyttäjälle kattavan valikoiman erilaisia datatyyppejä, joita voi yhdistää samaan pakettiin CSV- tai JSON-muodossa. Datatyyppejä on muun muassa etunimi, sukunimi, osoite, salasana, kaupunki ja paljon muita.



SingleSignOn			
	id	integer	 
	password	string	 
	used	integer	 
 Add field			

Kuva 47. Kertakäyttöisen kirjautumisen SQL-tietokannan taulu.

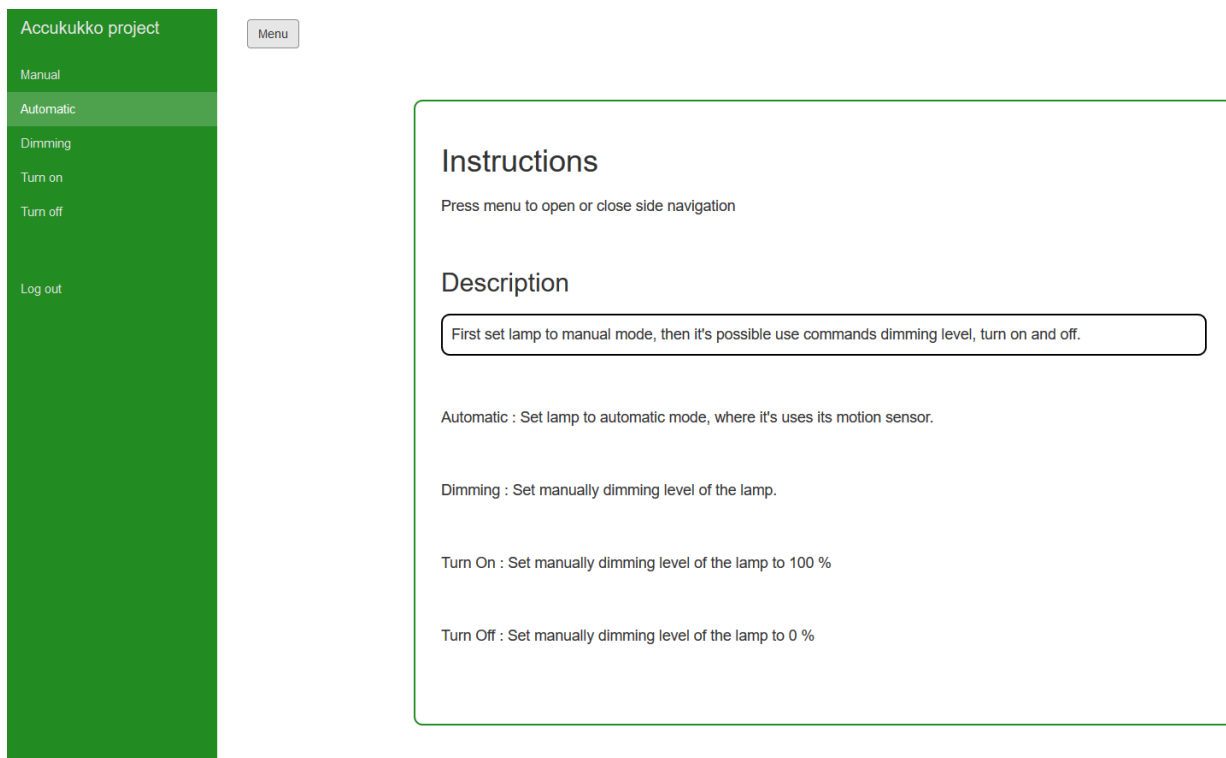
Kuvassa 47 on esitetty SingleSignOn-taulu. Tauluun tallennetaan kertakäyttöiset pääsykoodit. Kertakäyttöisen pääsykoodit ovat tallennettu hyvin yksinkertaiseen SQL-tietokanta tauluun. Taululla on pääavaimena id-tunniste, pääsykoodi password-kentässä ja sen käytöstä ilmaseva used-kenttä. used kentässä on numero 0, kun kertakäyttöistä pääsykoodia ei ole käytetty.

Kertakäyttöisellä pääsykoodilla kirjautuessa internet sovellus tarkistaa tietokannasta löytyykö käyttäjä käyttänyt pääsykoodia password-kentässä seuraavalla SQL-komento SELECT-lauseella.

Jos SQL-haku löytää tietokannasta vastaavan kentän palauttaa se tietokannasta ehdot täyttävät rivien pääavaimen. Pääavaimen avulla tehdään toinen SQL-komento UPDATE-lauseella, jolla muutetaan used-kentän arvo numeroksi 1, joka viittaa pääsykoodin olevan käytetty.

14.2 Ohjauksettöliittymän toiminnot

Ohjauksettöliittymän kirjautumisen jälkeen internet sovellus ohjaa käyttäjän toimintojen etusivulle. Toiminnot sivulla käyttäjä voi kokeilla etöohjausta yksinkertaisella käyttöliittymällä. Käyttöliittymä muodostuu ohjeesta ja sivulle asetetusta navigointi paneelista.



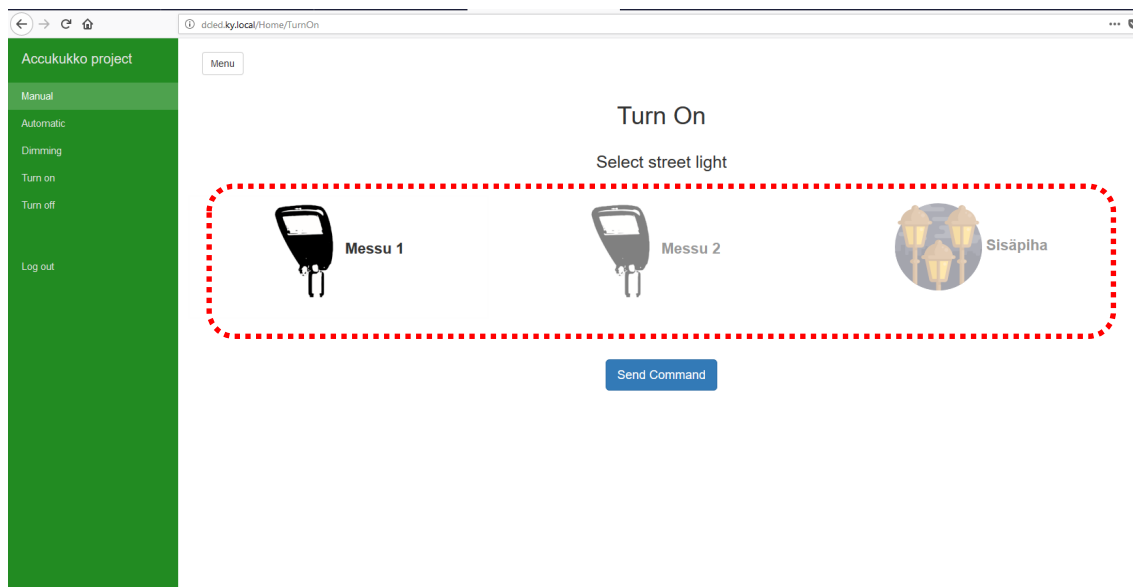
Kuva 48. Ohjauksettöliittymän toimintojen etusivu.

Kuvassa 48 on esitetty ohjauksettöliittymän ulkoasu. Sivulle olevassa navigointipaneelissa on sivun toiminnot, jotka ovat Manual, Automatic, Dimming, Turn On, Turn Off. Nämä toiminnot käyttävät etöohjauksen kokeellisia toimintoja. Toiminnot käyttävät manuaali, automaatti ja himmennys toimintoja. Turn On ja Turn Off käyttää himmennystoimintoa 100% ja 0 % arvoilla.

Ohjeet ovat sijoitettu selkeästi keskelle sivua. Ohjeiden tarkoitus on antaa käyttäjälle pikaopastus toimintojen käyttämiseen.

14.3 Ohjauskäyttöliittymän toimintojen toimintaperiaate

Toimintojen käyttäminen suunniteltu yksinkertaisesti. Suunnittelussa on käytetty periaatteena seuraavaa: valitse toiminto → valitse kohde → lähetä komento. Yksinkertaisen käyttämisen tavoitteina on tehdä ohjauskäyttöliittymästä looginen ja helppokäyttöinen. Tällöin käyttöliittymän käyttäminen ei edellytä tutustumista ennen käyttöä.



Kuva 49. Turn On-toimintoon suorittaminen käyttöliittymässä.

Kuvassa 49 on "Turn On"-toiminto on avattu. Toiminnon valittua valitaan kohdelaite. Kohdelaitteet ovat punaisella katkoviivalla korostetulla alueella. Kohdelaite valitaan painamalla laitella. Valittu kohde laite on korostettu. Messu 1 on valittu kohdelaite. Komento lähetetään kohdelaiteelle painamalla "Send Command"-nappia.



Kuva 50. Ohjauskäyttöliittymän toimintaperiaate.

Kuvassa 50 on esitetty komennon suorittamisen vaiheet. Komennon suorittaminen alkaa "Send Command"-napin painamisesta. Nappia painamalla käyttöliittymä lähettää HTTP Post-viestin käyttöliittymän taustapalvelulle. Taustapalvelu tulkitsee viestin ja generoi komennon älykkään ohjauksen sovelluskehityspaketilla. Generoitu komento lähetetään kohdelaiteelle sovelluskehityspaketilla. Taustapalvelu tulkitsee komennon vastauksen ja palauttaa käyttäjälle näkymän. Näkymässä kerrotaan komennon onnistuminen.

15 ÄLYKKÄÄN OHJAUKSEN TOTEUTTAMINEN

Älykkään ohjauksen toteuttamisessa tärkeää on helppokäyttöisyys ja jatkokehitys mahdollisuuden luominen tulevaisuutta varten. Helppokäyttöinen ohjaus on todennäköisemmin jatkokehityksessä tulevaisuudessa. Edellytys jatkokehitykseen on tarvittavien työkalujen kehittäminen ja niiden lähdekoodien säilyttäminen tallessa tulevaa käyttöä varten.

Työssä toteutettiin kaksi älykkään ohjauksen soveltamistapaa. Valaisinkohtaisen ohjauksen kehittämisen aikana testaukseen suunnattu työkalu. Työkalun kehittämisen tavoitteena on yksinkertainen, mutta toimiva ratkaisu. Opintojen aikana C#-ohjelmointikieli on tullut tutuimmaksi. C#-ohjelmointikielillä yksinkertaisen ohjelman tyyppi on konsolisovellus. Konsolisovellus on yksinkertainen, koska siinä ei käytetä graafisia ominaisuuksia. Ohjelmassa avautuu komentorivi, jonka välityksellä sovellus toimii.

Älykkään ohjaamisen käyttöön toteutettiin luokkakirjasto C#-ohjelmointikielillä. Luokkakirjaston kehittämisen tavoitteita on käyttöjärjestelmä riippumaton toiminta ja helppokäyttöisyys. Käyttöjärjestelmä riippumaton toiminta on toteutettu käyttämällä .NET Standard-sovelluskehityspakettia. Se toimii natiivissa Windows-ympäristössä ja muissa käyttöjärjestelmissä .NET Core-sovelluksella. Core-sovellus on erityisellä sovelluskehityspaketilla, joka tukee Windows, Linux ja MAC-käyttöjärjestelmiä.

15.1 C# luokkakirjasto - sovelluskehityspaketti

C# Luokkakirjasto on rakennettu .NET Standard-sovelluskehityspaketilla. .NET Standard-sovelluskehityspaketti on tuettu .NET Framework- ja .NET Core-sovelluskehityspaketeissa. C# Luokkakirjasto käsittelee monimutkaisen ohjauspaketin luomisen ja vastauksen tulkitsemisen. Luokkakirjastoa käytävälle sovellukselle on helppo implementoida älykkään LED-valaistuksen toiminnot kehitettävään ohjelmaan.

Kehitettävä sovellus käyttää yksinkertaisia metodeja komentopakettien luomiseen ja komennon lähettämiseen. Metodin palauttaa komennon suorittamisen onnistumisen boolean-tyyppisellä muuttujalla. Boolean-tyyppinen muuttujan arvoja on tosi ja epätosi. Metodin käyttää asynkroonista suoritustapaa, jossa sovelluksen annetaan tehdä muita toimenpiteitä komennon suorittamisen aikana.

```

1  using System;
2  using System.Collections.Generic;
3  using C2SmartLight;
4  using C2SmartLight.utils;
5  using System.Threading.Tasks;
6  namespace C2Tester
7  {
8      class Program
9      {
10         static void Main(string[] args)
11         {
12             Test();
13         }
14
15         static async void Test()
16         {
17             C2LumoController controller = new C2LumoController()
18             {
19                 mac = "Example Controller MAC address",
20                 name = "Example Controller"
21             };
22             C2Smartlight smartControl = new C2Smartlight();
23             await smartControl.ManualCommandAsync(controller); //Manuaalitila
24             await smartControl.AutomaticCommandAsync(controller); //Aikataulutila
25             await smartControl.DimmingCommandAsync(controller, 50); //himmennystaso 50%
26             await smartControl.RelayCommandAsync(true); //Keskitinlaitteen rele päälle
27             await smartControl.DimmingProfileCommandAsync(controller, "Mon,01:00,1,60;Mon,02:00,1,
28             await smartControl.DimmingLevelCommandAsync(controller, 10, new int[] { 0,10,20,30,40,
29             var response = await smartControl.MovementDimmingCommandAsync(controller, 50, 100); //
30             if(response.Success())
31             {
32                 Console.WriteLine("komento onnistui");
33             }
34             else
35             {
36                 Console.WriteLine("komento ei onnistunut");
37             }
38         }
39     }
40 }
41

```

Kuva 51. C# Luokkakirjaston käyttämisen esimerkki.

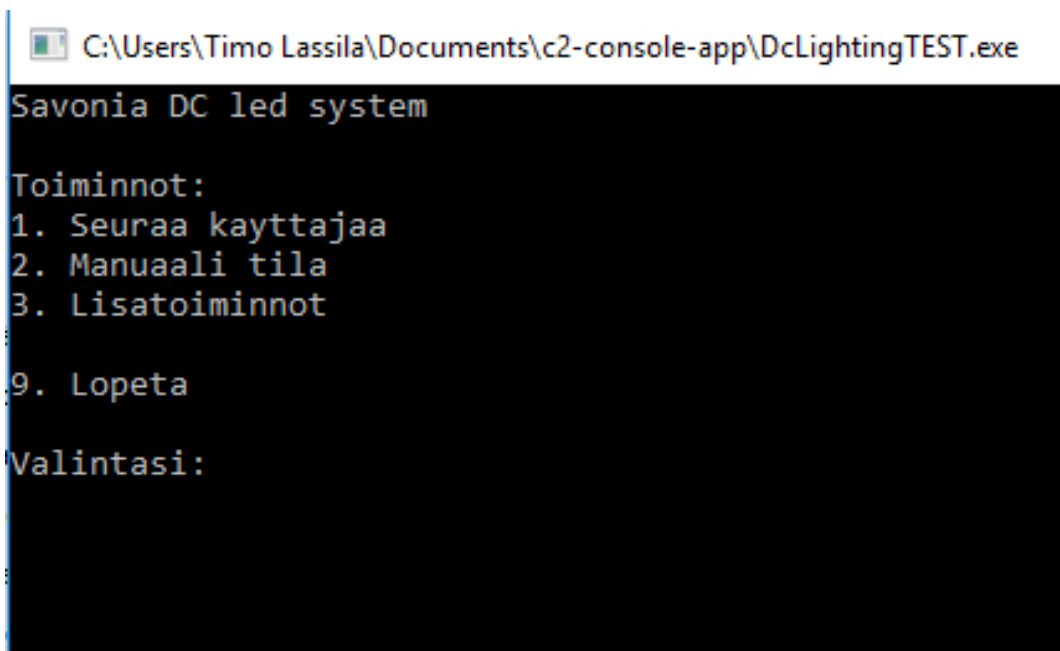
Kuvassa 51 on kuvattu esimerkki luokkakirjaston käytöstä. Luokkakirjaston metodit ja oliot löytyvät C2Smartlight ja C2Smartlight.utils nimiavaruudesta. Nimiavaruudet määritetään using-lauseilla, jotka ovat ensimmäisiä rivejä ohjelmassa.

Luokkakirjaston käyttämistä varten luodaan C2LumoController-olio tai lista C2LumoController-olioit. C2LumoController-oliolla on MAC-osoite ja nimi. Nimellä tunnistaa valaisinkohtaisen ohjaimen ja MAC-osoite on valaisinkohtaisen ohjaimen yksilöllinen tunniste. Listalla samalla suorituksella voi lähettää komennon useammalle valaisinkohtaiselle ohjaimelle.

Komennon lähettämiseen luodaan C2Smartlight-tyyppinen olio. Olio luodaan tekemällä uusi instanssi luokasta. Metodit ovat asynkronisia, joten voi suorittaa tehtävänä tai asynkronisena metodina käyttäen await avainasanaa metodin edessä. Olion metodit palauttavat vastauksen komentojenlähetyksestä. vastaus sisältää Success-metodin, joka tarkistaa onko kaikki onnistuneet. Lisäksi vastauksessa on jokaisen komennon suorituksen tila listana.

15.2 C# konsolisovellus

Konsolisovellus kehitettiin LED-valaisimien etäohjauksen testaamiseen. Sovelluksella on tekstipohjainen käyttöliittymä, jossa vuorovaikutetaan ohjelmaan yksinkertaisten valikoiden välityksellä. Sovellus sisältää useimmat etäohjauksen toiminnot. Sovellus myös sisältää älykkään toiminnon, joka hyödyntää etäohjauksen toimintoja. Sovellukseen on rakennettu tuki älykkään LED-valaistuksen demo verkkoon Opistotien kampukselle.



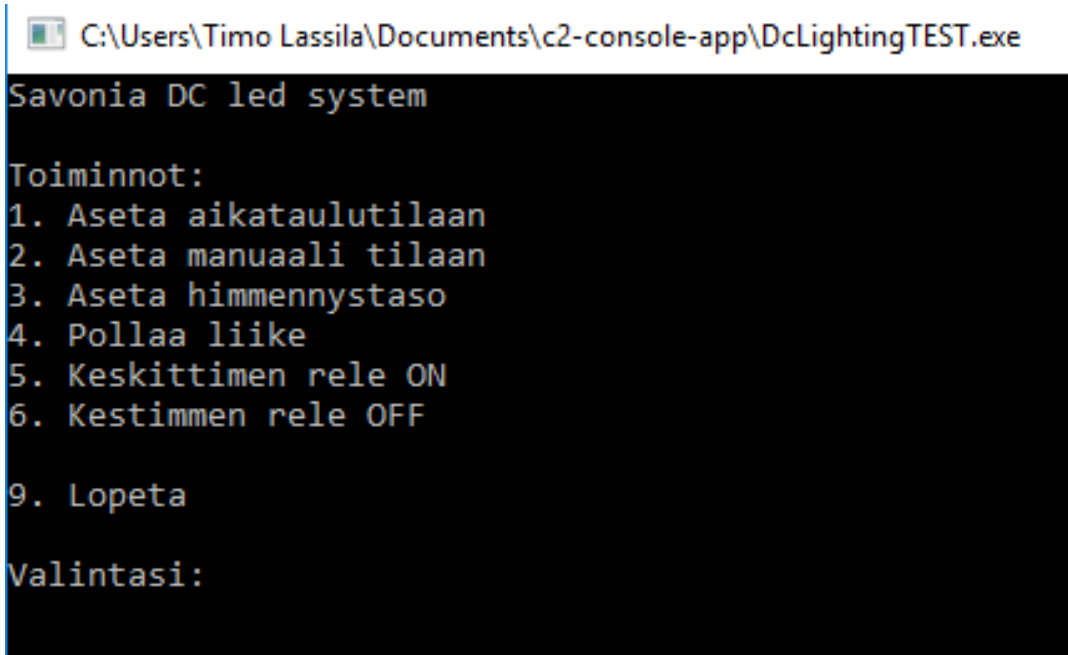
```
C:\Users\Timo Lassila\Documents\c2-console-app\DcLightingTEST.exe
Savonia DC led system
Toiminnot:
1. Seuraa käyttajaa
2. Manuaali tila
3. Lisatoiminnot
9. Lopeta
Valintasi:
```

Kuva 52. Konsolisovelluksen päävalikko ohjelman käynnistämisen jälkeen.

Kuvassa 52 on ohjelman päävalikko. Valikko on toteutettu tekstipohjaisella ratkaisulla. Valikon toimintojen eteen on lisätty numero, jolla toiminnon voi valita kirjoittamalla numeron ja painamalla enter-näppäintä.

Seuraa käyttajaa-toiminto hyödyntää etäohjauksen toimintoja. Toiminnon ideana on tunnistaa liiketunnistimien avulla käyttäjän suunta. Kerätyn tiedon perusteella tavoitteena on ennakoivasti valaista reitti. Testien perusteella toiminto ei toimi käytännössä. Testien aikana tuli ongelmaksi viive komennon lähettämisen ja vastaanottamisen välillä. Toiminto käyttää etäohjauksen komentoja liiketunnistimien tilan kysymiseen LED-valaisimelta. Ongelman vuoksi toiminnon kehittäminen jäi keskeneräiseksi.

Lisätoiminnot-toiminnossa on varattu oma valikko valaistuksen ohjaukseen liittyviin toimintoihin. Tois-
taiseksi sellaisia ei ole.



```
C:\Users\Timo Lassila\Documents\c2-console-app\DcLightingTEST.exe
Savonia DC led system

Toiminnot:
1. Aseta aikataulutilaan
2. Aseta manuaali tilaan
3. Aseta himmennystaso
4. Pollaa liike
5. Keskittimen rele ON
6. Kestimmen rele OFF

9. Lopeta

Valintasi:
```

Kuva 53. Konsolisovelluksen manuaalitila-toiminto auki ohjelmassa.

Kuvassa 53 on manuaalitila-toiminto avattu. Toiminnossa käyttäjä voi käyttää etäohjauksen toimintoja testaukseen kohdistetulla sovelluksella. Toimintoina on valaisinkohtaisen ohjaimen tilan asentaminen aikataulu tai manuaalitilaan, valaisinkohtaisen ohjaimen himmennystason asettaminen, liiketuntistimen tilan kysyminen ja keskitinlaitteen releen tilan asettaminen.

Etäohjauksen toimintoja on myös muita, mutta niitä ei ole toteutettu sovellukseen. Ajanpuutteen vuoksi muiden toimintojen toteutus jää opinnäytetyön tulevaisuuden jatkokehitykseen. Tarkemmin toiminnoista valaisinkohtaisen ohjauksen kappaleessa.

16 LOPPUTULOS

Opinnäytetyön lopputuloksena on toimiva valaisinkohtaisesti ohjattava LED-valaisimen verkko Savonia-ammattikorkeakoulun Opistien kampuksen välipihalla. Onnistumisina valaisimien verkossa on etäohjauksen toiminen käytännössä tavalla, jolla valaisimia voi ohjelmoida suoraan internetin yli. Parannettavaa on LED-valaisimien valaisinkohtaisen ohjaimen ZigBee-antennin sijoittamisessa. Anteeni on sijoitettu valaisimen sisälle. Sijoittamisen vuoksi LED-valaisimilla on havaittu sääriippuvaisia häiriöitä yhteydessä.

Valaisinkohtaisen ohjauksen soveltaminen älykkäästi epäonnistui. Älykkäeseen soveltamiseen kuuluu langaton anturijärjestelmä ja automaattinen ohjaus. Langattoman anturijärjestelmän oli tarkoituksena kerätä tietoa ympäristöstä. Tiedolla voisi älykkäästi optimoida valaistuksen toimintaa toimivaan turvallisesti, mutta samalla säästää energiaa. Tiedon kerääminen Microsoft Azure-pilvialustaan osoitautui epäonnistumiseksi kustannusten kasvaessa kohtuuttoman korkeaksi. Opinnäytetyön viisaan ajankäytön vuoksi vaihtoehtoisen tiedonkeräämisen Savonia Mittaus-palveluun keskeytettiin. Keskeytyksen syynä on panostaminen toimivaan valaisinkohtaisen ohjattavien LED-valaisimien verkkoon.

Valaisinkohtaisen ohjaukseen on SähköValoTeleAv-messuille kehitetty ohjauskäyttöliittymä. Ohjauskäyttöliittymän heikkoina on toimintojen yksinkertaisuus. Toimintoina on periaatteessa valojen himmennys ja ennaltamääritely aikataulutilla. Toiminnot soveltuvat reaaliaikaiseen havainnollistamiseen.

Valaisinkohtaisen ohjauksen kehittämiseen on tarpeelliset toiminnot kattava sovelluskehityspaketti. Toiminnot mahdollistavat muunmuassa himmennysaikataulun asettamisen 7 päivälle. Sovelluskehityspaketilla helposti ottaa käyttöön valaisinkohtaisen ohjauksen C#-sovelluksiin.

Opinnäytetyössä jatkokehityksen tavoitteita on valaisinkohtaisen ohjauksen automatisointi ja LED-valaisimien valaisinkohtaisen ohjaimen antennin sijoittaminen paremman yhteyden muodostamiseksi.

17 POHDINTA

Lähtötilanteena opinnäytetyön alussa oli Savonia-ammattikorkeakoulussa opettettu ohjelmoinnin, elektroniikan ja sähkötekniikan perusteet. Perusteet kattavat vain osan opinnäytetyön suorittamiseen vaadittavasta ammattitaidosta. Taustalla on sähköasentajan ammattitutkinto, joka auttoi ymmärtämään sähkötekniikan osuutta opinnäytetyöstä.

Opinnäytetyön aiheena on älykäs LED-valaistus. Aihe on valtavan laaja, jonka loppullista sisältöä ei voi etukäteen tietää tarkasti. Opinnäytetyön käytännön osuus alkoi vuonna 2017 tuotekehityksen kurssilla. Tuotekehityksen kurssilla kokeiltiin kaupallista älykästä valaisinkohtaista ohjausta ja langatonta anturijärjestelmää. Lopullinen vaihe opinnäytetyön laajuuden määrittelyssä tuli DC-aluevalaistus hankkeessa.

Opinnäytetyöksi loppullinen aiheen laajuus on hyvin laaja verrattuna henkilökohtaisesti luettuihin opinnäytetyön raportteihin. Opinnäytetyöstä tuli pitkä ja haastava oppimisprosessi, joka käsittää C#-ohjelmointikielien syvemmän ymmärtämisen, internet sovellusten kehittämisen, elektroniikan syvemmän ymmärtämisen, piirilevyn suunnittelun ja sähkötekniikan soveltaminen vaihtovirran ja tasavirran välillä.

Opinnäytetyön valmistumisen prosessi tuli suoritettua käytännössä täysipäiväisen työn ohella. Työpaikka toimiala on samankaltainen kuin opinnäytetyön aihe. Tästä oli paljon apua oppimisprosessissa. Kokemuksena opintojen viimeistelyä työn ohella oli todella raskasta. Suosittelen mahdollisuuksien mukaan suorittamaan opinnäytetyön opintojen ohella.

Tulevaisuuteen haastava opinnäytetyö toi valmiuden realistisesti pärjätä työelämässä. Työelämään pärjäämiseen tietämys tuo vakaan pohjan kehittyä ja erikoistua tietotekniikan ja laiteläheisen tietotekniikan alalla.

Havaintona tuli opinnäytetyön, jotka liittyvät itse opinnäytetyön laajuuteen ja laajuuden vaikutuksiin lopputuloksena. Havaintoina opinnäytetyön aiheen huomaamaton laajeneminen ja laajan opinnäytetyö valmistavat paremmin tulevaisuutta varten.

Huomaamaton laajeneminen tarkoittaa sisällön epätarkkaa määrittelyä. Epätarkalla määrittelyllä opinnäytetyöhön kuluvaan aikaan huomattavasti enemmän. Toistaalta laaja opinnäytetyö syvempää tietämystä enemmän jo koulussa opettuihin perusteisiin. Jälkeenpäin ajateltuna aiheen määrittelyssä olisi pitänyt olla määrätietoisempi.

18 LÄHDELUETTELO

- Burgess, M. (16. 2 2018). *What is the Internet of Things?* Haettu 23. 12 2018 osoitteesta Wired:
<https://www.wired.co.uk/article/internet-of-things-what-is-explained-iot>
- C2 Smartlight. (6. 3 2019). *C2 Lumo Manager*. Haettu 6. 3 2019 osoitteesta C2 Smartlight:
<http://c2smartlight.com/c2-lumo-manager-2/>
- C2 Smartlight. (6. 3 2019). *C2 Lumo Manager Brochure*. Haettu 6. 3 2019 osoitteesta C2 Smartlight:
<http://c2smartlight.com/wp-content/uploads/2016/07/C2-Lumo-Manager-2016v1.0e-2.pdf>
- C2 Smartlight. (1. 3 2019). *Smart Controller*. Haettu 1. 3 2019 osoitteesta C2 Smartlight:
<http://c2smartlight.com/c2smartlumo-controller/>
- Dejan. (11. 3 2019). *Schmitt-liipaisin*. Haettu 11. 3 2019 osoitteesta How Mechanic Works:
<https://howtomechanics.com/how-it-works/electrical-engineering/schmitt-trigger/>
- Digicert. (25. 2 2019). *SSL-Cryptography*. Haettu 25. 2 2019 osoitteesta Digicert: <https://www.digicert.com/ssl-cryptography.htm>
- Digital Illumination Interface Alliance. (6. 3 2019). *digital illumination interface*. Haettu 6. 3 2019 osoitteesta DALI:
<https://www.digitalilluminationinterface.org/dali/>
- Ecetutorials. (17. 3 2019). *Schmitt-liipaisin*. Haettu 17. 3 2019 osoitteesta Ecetutorials:
<http://ecetutorials.com/analog-electronics/schmitt-trigger/>
- ElectronicTutorials. (9. 5 2019). *Transistors*. Haettu 9. 5 2019 osoitteesta Electronic tutorials:
https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_6.html
- Fujitsu. (21. 6 2018). *Fujitsu Components selects Wirepas Mesh for advanced IoT solution development*. Haettu 28. 1 2019 osoitteesta Fujitsu Press Release: <https://www.fujitsu.com/uk/about/resources/news/press-releases/2018/fceu-selects-wirepas.html>
- HyperPhysics. (6. 5 2019). *Department of Physics and Astronomy*. Noudettu osoitteesta LED:
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Electronic/led.html>
- IBM. (9. 05 2019). *TCP/IP protocols*. Noudettu osoitteesta IBM Support:
https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/ssw_aix_71/com.ibm.aix.networkcomm/tcpip_protocols.htm
- IEEE. (2011). *IEEE 802.15.4 Standard*. Haettu 17. 1 2019 osoitteesta University of Colorado Boulder:
http://ecee.colorado.edu/~liue/teaching/comm_standards/2015S_zigbee/802.15.4-2011.pdf
- Is It Safe To Use HTTPS*. (23. 01 2017). Haettu 25. 2 2019 osoitteesta Quora: <https://www.quora.com/Is-it-safe-to-use-HTTPS>
- JSON. (16. 4 2019). *Introducing JSON*. Haettu 16. 4 2019 osoitteesta json.org: <https://www.json.org/>
- Koncar, V. (2016). *Smart Textiles and Their Applications*. Roubaix: Woodhead Publishing. Haettu 4. 1 2019 osoitteesta <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/electroluminescence>
- Lobel, L. (23. 8 2015). *Azure DocumentDB Introduction*. Haettu 18. 3 2019 osoitteesta Pluralsight Courses:
<https://www.pluralsight.com/courses/azure-documentdb-introduction>
- Logopedia. (23. 1 2019). *Microsoft Azure Logo*. Noudettu osoitteesta Logopedia:
http://logos.wikia.com/wiki/Microsoft_Azure
- Microsoft. (8. 5 2018). *Azure IoT Suite preconfigured solutions*. Haettu 3. 2 2019 osoitteesta Github: Azure IoT Suite preconfigured solutions

- Microsoft. (29. 06 2018). *Logic App Overview*. Haettu 18. 3 2019 osoitteesta Microsoft Azure Documentation:
<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/logic-apps/logic-apps-overview>
- Microsoft. (26. 11 2018). *Management tools*. Noudettu osoitteesta Microsoft Azure:
<https://azure.microsoft.com/en-us/services/#management-tools>
- Microsoft. (7. 1 2019). *Azure Functions*. Noudettu osoitteesta Azure documentation:
<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-functions/>
- Microsoft. (25. 1 2019). *Azure global infrastructure*. Noudettu osoitteesta Microsoft Azure:
<https://azure.microsoft.com/en-us/global-infrastructure/regions/>
- Microsoft. (12. 3 2019). *Event Hub*. Haettu 12. 3 2019 osoitteesta Microsoft Azure: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/event-hubs/>
- Mozilla. (18. 3 2019). *HTTP*. Haettu 16. 4 2019 osoitteesta MDN web docs:
<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP>
- MQTT. (16. 4 2019). *Frontpage*. Haettu 16. 4 2019 osoitteesta mqtt.org: <http://mqtt.org/>
- Nordgren, K. (13. 1 2019). *Yritystarinat Wirepas*. Noudettu osoitteesta Finnvera:
<https://www.finnvera.fi/finnvera/yritystarinat/wirepas>
- Philips. (5. 1 2019). *How Is White Light Produced By Led*. Noudettu osoitteesta Philips Lighting:
<http://www.lighting.philips.com/main/support/support/faqs/white-light-and-colour/how-is-white-light-produced-by-leds>
- Philips. (6. 1 2019). *Innovaatio LED-valaistuksessa*. Noudettu osoitteesta Philips:
<https://www.philips.com/consumerfiles/newscenter/main/design/resources/pdf/Inside-Innovation-Backgrounder-Lumens-per-Watt.pdf>
- Philips. (5. 1 2019). *Lighting university browser - LED*. Noudettu osoitteesta Philips lighting:
<http://www.lighting.philips.com/main/education/lighting-university/lighting-university-browser/video/LEDs>
- Photon startechnology. (6. 1 2019). *How leds produce white light?* Noudettu osoitteesta Photon startechnology - Learn: http://www.photonstartechnology.com/learn/how_leds_produce_white_light
- Prophet, G. (25. 8 2016). *IoT, multi-parameter sensors utilize Wirepas Connectivity*. Noudettu osoitteesta eeNews Europe: <https://www.eenewseurope.com/news/iot-multi-parameter-sensors-utilize-wirepas-connectivity>
- Rainey, R. (15. 10 2014). *Azure Active Directory Introduction*. Haettu 18. 3 2019 osoitteesta Red Gate:
<https://www.red-gate.com/simple-talk/cloud/security-and-compliance/azure-active-directory-part-1-an-introduction/>
- Rouse, M. (1. 12 2018). *Definition of Microsoft Power BI*. Haettu 7. 1 2019 osoitteesta TechTarget:
<https://searchcontentmanagement.techtarget.com/definition/Microsoft-Power-BI>
- Savonia. (23. 12 2018). *DC-aluevalaistus*. Noudettu osoitteesta Hankkeet ja Projektit:
<http://portal.savonia.fi/amk/fi/tutkimus-ja-kehittaminen/projekti-ja-hanketoiminta/projektit-ja-hankkeet?id=533>
- Savonia-ammattikorkeakoulu. (15. 3 2019). *Accukukko-järjestelmä*. Haettu 15. 3 2019 osoitteesta Accukukko-järjestelmä: <https://accukukko.savonia.fi/>
- Serhat. (12. 6 2011). *History of ZigBee Alliance*. Haettu 15. 1 2019 osoitteesta Blogspot:
<http://sercolaywireless.blogspot.com/2011/06/history-of-zigbee-alliance.html>
- Serhat. (4. 6 2011). *Quick Overview on Zigbee Standard*. Haettu 17. 1 2019 osoitteesta Blogspot:
<http://sercolaywireless.blogspot.com/2011/06/quick-overview-on-zigbee-standard.html>

Solit. (2. 1 2019). *Pilvipalveluiden ostajan opas*. Noudettu osoitteesta Solit:

https://hub.solita.fi/hubfs/Oppaat%20ja%20tiedostot/Solit_Pilvipalveluiden-ostajan-opas_FI.pdf

Texas Instrument. (1. 8 2016). *LM340, LM340A and LM7805*. Haettu 9. 5 2019 osoitteesta Datasheet:

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>

The Editors of Encyclopaedia Britannica . (20. 7 1998). *LED*. Haettu 23. 12 2018 osoitteesta Encyclopaedia

Britannica : <https://www.britannica.com/technology/LED>

WavIoT. (7. 1 2019). *Wireless sensor network*. Noudettu osoitteesta WavIoT products:

<https://waviot.com/technology/what-is-lpwan>

Wikipedia. (24. 12 2018). *LED*. Haettu 24. 12 2018 osoitteesta Wikipedia: <https://fi.wikipedia.org/wiki/LED>

Wikipedia. (7. 1 2019). *Wirepas*. Noudettu osoitteesta Wikipedia: <https://waviot.com/technology/what-is-lpwan>

Wirepas. (28. 1 2019). *Benefits*. Noudettu osoitteesta Wirepas: <https://wirepas.com/products-and-services/benefits/>

Wirepas. (28. 1 2019). *Technology overview* . Noudettu osoitteesta Wirepas: <https://wirepas.com/products-and-services/technology-overview/>

Ylinen, T. (15. 03 2011). *Sähkön termit tutuksi*. Haettu 23. 12 2018 osoitteesta Sähköala:

http://www.sahkoala.fi/koti/muut_artikkelit/fi_FI/sahkotermi_tutuiksi/