

# KASVIHUONEAUTOMAATIO NODE-RED-YMPÄRISTÖSSÄ

Skaalattavan kotikasvihuoneautomaatiojärjestelmän suunnittelu ja toteutus



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö  
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Kevät 2023

Jetro Vainio

---

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| Tekijä    | Jetro Vainio                               | Vuosi 2023 |
| Työn nimi | Kasvihuoneautomaatio Node-RED-ympäristössä |            |
| Ohjaaja   | Juha Sarkula                               |            |

---

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella ja toteuttaa kotikäyttöön soveltuva kasvihuoneautomaatiojärjestelmä käyttäen edullisia ja helposti saatavilla olevia komponentteja.

Koska kasvihuonekasvatus on kovin työlästä ja vaatii erityisesti lämpimimpiin aikoihin runsaasti sekä kastelua että lämpötilan optimointia, tämän laitteiston tarkoitus oli mahdollistaa kasvihuoneen itsenäinen toiminta kasvatuskauden aikana. Laitteiston toiminta oli suunniteltu kevään ja syksyn väliselle kasvukaudelle tavallisen perheen ei- kaupalliseen käyttöön. Tarve kasvihuoneautomaatille on olemassa, mutta kaupallisia ja samanaikaisesti edullisia ratkaisuja ei kuluttajalle varsinaisesti ole tarjolla.

Laitteiston prototyyppi toteutetaan pienoiskoossa ja ohjelmointi tapahtuu Node-RED-ympäristössä.

Toimiva ohjelmisto sekä selkeä ja yksinkertainen loppukäyttäjän rajapinta manuaaliohjauksineen asetettiin prototyypin tavoitteeksi. Kyseisen kasvihuoneen loppukäyttäjä ei ole kiinnostunut tekniikasta vaan siitä että laitteisto täyttää sille asetetun tehtävän hyväksi havaituilla parametreilla ja vapauttaa päivittäisistä kasvihuoneen rutiininomaisista hoitotehtävistä. Laitteistoa piti olla mahdollista ohjata ja valvoa etäyhteyden kautta tietoturva huomioiden. Laitteiston prototyyppi toimi tutkimusalustana suuremman kasvihuoneen ohjausjärjestelmän rakentamiselle.

Projektin lopputuloksena rakennettu laitteisto toimii halutusti, on tietoturvallinen ja edullinen rakentaa. Etäyhteys toimii myös toivotulla tavalla.

Avainsanat Automaatio, automaatiojärjestelmät kasvihuone, kasvihuoneviljely, ohjelmointi  
Sivut 41 sivua ja liitteitä 10 sivua

---

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| Author     | Jetro Vainio   | Year 2023 |
| Subject    | Node-RED automation for a small-scale greenhouse. Design and implementation of a scalable home greenhouse automation system. |           |
| Supervisor | Juha Sarkula   |           |

---

The purpose of this thesis was to design and build a greenhouse automation system that is suitable for home use using inexpensive and readily available components.

Since greenhouse cultivation takes a lot of time and requires a lot of both watering and temperature optimization, especially during summertime, the purpose of this system was to enable the independent operation of the greenhouse during the growing season. The equipment is designed to operate for the growing season between spring and autumn. The greenhouse was designed for a single-family use. There is a need for a greenhouse automation system but affordable solutions are not available to the consumer on the commercial market.

The prototype of the hardware was built in small scale, and the programming took place in the Node-RED environment.

Functioning software, and a clear and simple front-end end-user interface, with manual controls were set as the goal of the prototype. The end-user of the greenhouse is not interested in the technology, but in the fact that the system is able to perform the jobs it was designed to sustain the environmental conditions set by the user.

It must be possible to control and monitor the equipment via secure remote connection.

The software part was the main interest, and a hardware prototype was built as a research platform for the construction of a larger greenhouse control system.

The equipment built as the result of the project works as desired and is safe and inexpensive to build. The remote connection also works as expected.

Keywords Automation, automation systems, greenhouse cultivation, programming

Pages 41 pages and appendices 10 pages

## Sisällys

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto .....   | 1  |
| 2     | Esineiden Internet .....   | 1  |
| 3     | Laitteiston komponenttien valinta .....  | 2  |
| 3.1   | Raspberry Pi .....   | 3  |
| 3.2   | Arduino Uno .....  | 4  |
| 3.3   | Kasvihuone .....   | 5  |
| 3.4   | Anturit .....  | 6  |
| 3.4.1 | Valovastus .....   | 6  |
| 3.4.2 | Lämpötila-anturi.....  | 7  |
| 3.4.3 | Kosteus- ja lämpötila-anturi.....  | 7  |
| 3.4.4 | Maaperän kosteusanturi.....  | 7  |
| 3.4.5 | Etäohjattava pistorasia.....   | 8  |
| 4     | Ohjelmisto .....   | 8  |
| 4.1   | Raspberry Pi .....   | 8  |
| 4.1.1 | Käyttöjärjestelmä .....  | 8  |
| 4.1.2 | Node-RED .....   | 9  |
| 4.1.3 | Terminal .....   | 9  |
| 4.2   | Node-RED .....   | 9  |
| 5     | Tietoturva Raspberry Pi- ja Node-Red-ympäristössä .....                        | 12 |
| 5.1   | Raspberry Pi-tietokoneen tietoturvallisuuden kannalta tärkeät perustoimet..... | 12 |
| 5.2   | Node-RED-tietoturva.....   | 13 |
| 5.3   | Turvallinen etäyhteys.....   | 13 |
| 6     | Kasvihuonekasvatuksen olosuhteiden tavoitteet .....                            | 14 |
| 7     | Kasvihuonejärjestelmän rakentaminen .....                                      | 15 |
| 7.1   | Kasvihuone .....   | 16 |
| 7.2   | Ohjausjärjestelmä .....  | 20 |
| 7.3   | Kamera .....   | 22 |
| 7.4   | KytKentärima.....  | 22 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 8     | Kasvihuoneen ohjelmisto .....                       | 23 |
| 8.1   | Valaistuksen ohjaus.....                            | 24 |
| 8.2   | Tuuletuksen ohjaus .....                            | 24 |
| 8.3   | Kattoluukun ohjaus .....                            | 25 |
| 8.4   | Kastelun ohjaus .....                               | 26 |
| 8.5   | Kamera .....  | 26 |
| 8.5.1 | Ohjaus.....   | 27 |
| 8.5.2 | Kuvien lähetys ja poistaminen .....                 | 27 |
| 8.5.3 | Timelapse .....                                     | 27 |
| 8.6   | LCD-näyttö.....                                     | 28 |
| 8.7   | Energiankulutuksen mittaus .....                    | 29 |
| 8.8   | Järjestelmän hallintaan liittyvät välilehdet .....  | 29 |
| 9     | Kasvihuonejärjestelmän käyttö .....                 | 30 |
| 9.1   | Alkuparametrien asetukset.....                      | 30 |
| 9.2   | Automaation käyttöönotto .....                      | 31 |
| 9.3   | Kasvihuoneen valvonta ja monitorointi .....         | 31 |
| 10    | Kasvihuoneen ohjausjärjestelmän skaalattavuus ..... | 33 |
| 10.1  | Kattoluukku .....                                   | 34 |
| 10.2  | Valaistus .....                                     | 34 |
| 10.3  | Kastelujärjestelmä.....                             | 34 |
| 10.4  | Lämmitys ja jäähdytys.....                          | 35 |
| 11    | Pohdinta .....                                      | 36 |
|       | Lähteet.....  | 40 |

## Kuvat

|   |    |
|---|----|
| Kuva 1. Raspberry Pi 4B.....  | 4  |
| Kuva 2. Arduino Uno Rev 3.....  | 5  |
| Kuva 3. Prototyyppi kasvihuoneesta.....                                       | 6  |
| Kuva 4. Yksinkertainen esimerkki Node-RED-flowsta.....                        | 10 |
| Kuva 5. Msg.Payload-arvo Debug-ikkunassa.....                                 | 11 |
| Kuva 6. Esimerkki Dashboardista.....  | 11 |
| Kuva 7. KytKentäkaavio.....   | 15 |
| Kuva 8. Miniservomoottori.....  | 16 |
| Kuva 9. Uppopumppu.....   | 17 |
| Kuva 10. Sprinkleri kastelemassa kasvatusalustoja.....                        | 17 |
| Kuva 11. Maaperän kosteusanturi.....  | 19 |
| Kuva 12. Prosessorin tuuletin ja DHT11-anturi.....                            | 20 |
| Kuva 13. LCD-näyttö esittää maaperän kosteuden ja automaation tilatiedon..... | 21 |
| Kuva 14. Kameramoduli ja kotelo.....  | 22 |
| Kuva 15. KytKentärima.....  | 23 |
| Kuva 16. Katon servomoottori auki- ja kiinniasennossa.....                    | 26 |
| Kuva 17. Shelly Plug S.....   | 29 |
| Kuva 18. Tavoitearvojen asettaminen.....                                      | 31 |
| Kuva 19. Automaation tilan asetus Node-REDistä käsin.....                     | 31 |
| Kuva 20. Kasvihuoneen valvontaikkuna.....                                     | 32 |
| Kuva 21. RaspiCam-välilehti.....  | 32 |
| Kuva 22. Sähkön kulutusta seuraava välilehti.....                             | 33 |

## **Liitteet**

- Liite 1. Lights-välilehti
- Liite 2. Fans-välilehti
- Liite 3. Roof-välilehti
- Liite 4. Soil Moisture-välilehti
- Liite 5. Camera-välilehti
- Liite 6. LCD-välilehti
- Liite 7. Energy Consumption-välilehti
- Liite 8. System Control-välilehti
- Liite 9. Machine Room-välilehti
- Liite 10. Local Control-välilehti

## Sanasto

|                  |   |
|------------------|---|
| 1-johdinkytkentä | yksinkertaisten laitteiden tiedonsiirtoväylä                                    |
| AD-muunnin       | analogia-digitaalimuunnin   |
| Arduino Uno      | avoimeen laitteistoon perustuva mikrokontrolleri                                |
| Dashboard        | työpöytäympäristö visualisointiin Node-REDissä                                  |
| Gigabit Ethernet | 1 Gbit/s siirtonopeuteen pystyvä Ethernet-verkko                                |
| Github           | avoimen ympäristön ohjelmakehitysprojekteille tarkoitettu verkkosivusto         |
| I2c-väylä        | yksinkertainen kahden johtimen väylä  |
| LCD              | nestekidenäyttö   |
| IoT              | asioiden Internet   |
| MicroHDMI        | pienille laitteille tarkoitettu versio HDMI-liitimestä                          |
| Micro-SD         | pienikokoinen SD-muistikortti   |
| Node-RED         | graafinen ohjelmointityökalu  |
| NOOBS            | New Out Of The Box-asennusohjelma Rasbian-käyttöjärjestelmän asennukseen        |
| Peltier          | lämpösähköinen komponentti  |
| PWM              | pulssinleveysmodulaatio   |
| Raspberry Pi     | yhden piirilevyn pienoistietokone   |
| SFTP             | SSH-yhteydellä tapahtuva tiedon siirtoprotokolla                                |
| Shelly Plug S    | etäohjattava energianmittaukseen kykenevä pistorasia                            |
| Servo-moottori   | moottori, joka ei pyöri akselinsa ympäri  |
| T-Coupler        | ulkoinen kytkentärimasto Raspberry Pi:lle                                       |
| Terminal         | komentorivi   |
| USB              | universaali liitäntätapa eri laitteiden kytkemiseksi toisiinsa                  |
| Valovastus       | vastus, jonka resistanssi riippuu siihen kohdistuvan valon määrästä             |
| VPN              | suojattu virtuaalinen erillisverkko laitteiden välillä                          |
| Zerotier         | ohjelmisto, jolla luodaan SDN- eli Software Defined Networks- virtuaaliverkkoja |



## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli rakentaa pienikokoisen automatisoidun kasvihuoneen prototyyppi, joka olisi mahdollista skaalata prototyypin rakentamisen kokemusten perusteella suurempaan mittakaavaan. Tavoiteltu koko oli yhden perheen tarpeita palveleva kasvihuone, jossa esimerkiksi tomaattien kasvatus onnistuisi vaivattomasti. Kasvihuonetta tulisi pystyä sekä ohjaamaan, että valvomaan etänä Internet-yhteyden välityksellä vailla fyysistä läsnäoloa kasvihuoneen välittömässä läheisyydessä. Prototyyppi pyrittiin rakentamaan edullisia ja helposti saatavilla olevia komponentteja käyttäen.

Kasvihuoneen valaistusta, maaperän kosteutta ja tuuletusta tuli olla mahdollista ohjata sekä paikallisesti, että etäyhteyden kautta. Tietoturva huomioiden etäohjauksen toteutuksen tuli olla yksinkertainen ja loppukäyttäjälle helppokäyttöinen.

Työn tilaajana toimii sen rakentajan perhe, ja laitteisto tulee toteuttajan perheen henkilökohtaiseen käyttöön. Laitteistoa ei ole suunniteltu kaupalliseen käyttöön, vaan sen tarkoituksena on helpottaa kasvihuoneviljelijän työtaakkaa ja mahdollistaa kasvatuskauden aikana tapahtuvat pidemmät poissaolot kasvihuoneen välittömästä läheisyydestä, joka on haastavaa silloin kun ympäristötekijät ovat kastelun, tuuletuksen ja lämpötilan hallinnan kannalta eniten fyysistä läsnäoloa vaativia kasvukauden aikana.

## 2 Esineiden Internet

Esineiden Internet eli Internet of Things, IoT on termi, jolla tarkoitetaan meille jokapäiväisten laitteiden kytkemistä verkkoon. Vaikka terminä se on keksitty jo 1990-luvulla Kevin Ashtonin toimesta (RDIF Journal, 2014), vasta viime vuosina sen yleistymisen on ollut räjähdysmäistä. Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä sen suuremmin IoT:n syntyä eikä määritelmää. Vaikka laadittu laitteisto voidaan määritellä osaksi esineiden Internetiä, ei se ole tämän tutkimustyön pääkohde eikä tässä työssä käsitellä teollista Internetiä. Monet käyttämämme laitteet ovat kuitenkin käyttökokemukseltaan merkittävästi parempia, kun niihin on pääsy oman kodin ulkopuolelta. Esineiden Internet on terminä kuvaava, ja tätäkin työtä koskee

samat edut ja haittapuolet, joita laitteiden kytkeminen verkkoon tuo mukanaan. Tämän opinnäytetyön lopputuote on siis osa esineiden Internetiä.

Tänä päivänä jääkaapit, uunit, televisiot, lämmitystä ohjaavat termostaatit, kodin valaistus, autot, puhelimet, tietokoneet ja lähes kaikki mahdolliset kuviteltavissa olevat laitteet voidaan kytkeä verkkoon. Käytämme arkipäiväisissä askareissamme usein laitteita, jotka helpottavat elämäämme esimerkiksi etäohjauksen kautta, mutta myös laitteita, joiden verkkoon kytkemisen mielekkyyttä kannattaa miettiä. Esimerkkinä olkoon, vaikka pilvipalvelimeen kuvia tallentava uuni.

Internetiin kytkettyjen ja kytkettävien laitteiden määrä kasvaa jatkuvasti. Se tuo mukanaan useita käyttöä helpottavia ominaisuuksia, mutta myös ongelmia. Muun muassa tietoturvasikat on syytä huomioida, samoin laitteiden jatkuva muutos tietokonemaisemmaksi aiheuttaa toisinaan ongelmia esimerkiksi asennuksen hankaloitumisen myötä. Tästä esimerkkinä vaikkapa Enston valmistamien lattialämmitystermostaattien EcoDesign-direktiivin aiheuttama pakko-ohjelmoitavuus. Laitteen uudet ohjelmointiominaisuudet ovat useimmiten peruskäytössä sekä kömpelöitä, että suurimmalle osalle käyttäjistä täysin tarpeettomia. Kuitenkaan perinteisiä, yli 250 watin tehoisia lattialämmitystermostaatteja ei poikkeusolosuhteita lukuun ottamatta saa enää asentaa.

### **3 Laitteiston komponenttien valinta**

Valmiita etähallittavia kasvihuonesäädinjärjestelmiä valmistaa muun muassa Itumic Oy. (Itumic, 2023). Heidän tuotteensa on tarkoitettu kuitenkin kaupalliseen kasvihuoneviljelyyn. Pienviljelyyn soveltuvia valmiita laitteistoja ei näillä vaatimuksilla ole tarjolla, automaattisia kasvihuoneen kattoluukun avaajia on kyllä markkinoilla, mutta niiden toiminta on puhtaasti mekaaninen. Kasteluunkin löytyy valmiita hyvin yksinkertaisia ratkaisuja, mutta kokonaista valmista ratkaisua ei kotikäyttöön ole tarjolla. Siksi sellainen täytyi kehittää itse.

Tietoa etsiessä törmättiin useaan otteeseen Raspberry Pi-tietokoneen ympärille rakennettuihin ratkaisuihin. Koska laitteistoon haluttiin graafinen käyttöliittymä,

aikaisemman kokemuksen perusteella Node-RED-ohjelmistoympäristö vaikutti täydelliseltä projektin toteutukseen. Antureiden ja toimilaitteiden ominaisuuksia vertailtiin sekä kokeilemalla, että muiden käyttäjien käyttökokemuksia tutkien, ja Internet tulvii tietoa erilaisista kasvatusratkaisutoteutuksista.

Laitteistoa suunnitellessa pääpaino oli helppossa saatavuudessa, hinnaltaan edullisissa ja helposti korvattavissa komponenteissa.

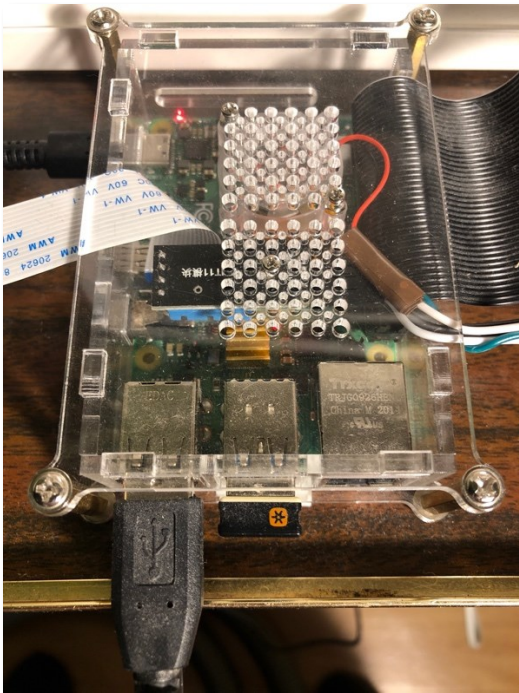
### **3.1 Raspberry Pi**

Raspberry Pi-tietokone valittiin kasvihuoneautomaation toteutuksen pohjaksi sen edullisen hinnan, joustavuuden ja helpon muokattavuuden takia. Myös fyysinen koko on pieni ja laite kuluttaa hyvin vähän energiaa. Mitattaessa Raspberry Pi:n energiankulutusta oheislaitteet poiskytettyinä on kulutus noin 4,6W/h sen pyöritettäessä Node-RED-ohjelmistoa, käyttöjärjestelmää sekä muita vain välttämättömiä prosesseja, joita kasvihuoneen toiminta vaatii.

Raspberry Pi on edullinen ja pienikokoinen tietokone, josta löytyvät kaikki tarpeelliset suurempiin tietokoneisiin normaalistikin liittyvät liittimet ja ominaisuudet. Laitteessa on liitännät kahdelle näytölle Micro HDMI-porteilla, stereo ääniulostulo miniplug-liittimellä, neljä kappaletta USB-portteja, 2 kappaletta USB 2.0-porttia sekä 2 USB 3.0-porttia. Lisäksi tietokoneessa on Gigabit Ethernet-liitin, liitin kameramoduulille, paikka Micro-SD-kortille sekä 40-pinninen GPIO (General Purpose-tulo/lähtö) -liitin, jota on mahdollista käyttää erilaisten signaalien sisään- ja ulostuloina. Tietokoneen prosessorina on Broadcom BCM2711, Quad Core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz, ja se tukee Bluetooth 5.0:aa, 2.4Ghz:n sekä 5.0Ghz:n Wifi-verkkoja.

Laitteesta on olemassa lukuisia variaatioita, tässä projektissa päädyttiin käyttämään kahden gigatavun muistilla varustettua mallia. (Raspberry Pi Foundation, 2023). Kuvassa 1 näkyy koteloitu Raspberry Pi.

Kuva 1. Raspberry Pi 4B.



Laitteen hinta projektin aloituksen aikaan tammikuussa 2022 oli noin 100 €.

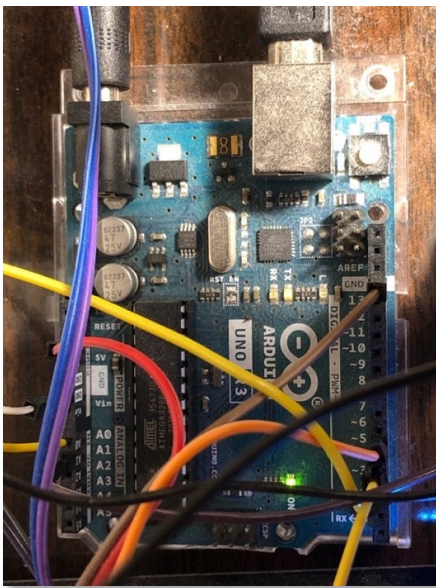
Lisäksi Raspberry Pi tarvitsee tarpeeksi tehokkaan virtalähteen. Vaikka sen voi helposti saada toimimaan tavallisella USB-laturilla, kokemus osoitti, että laite toimii huomattavasti luotettavammin tehokkaalla virtalähteellä ja mystiset kaatumiset loppuivat kokonaan kunnollisella virtalähteellä.

### 3.2 Arduino Uno

Komponentteja valitessa todettiin tarve myös analogisille tuloille. Koska Raspberry Pi:ssä ei ole analogisia sisääntuloja, rakennettiin sellaisen prototyyppi ensin käyttäen MCP3008 10-bit ADC-Analog to Digital Converter-IC-piiriä. Vaikka muunnin toimi mainiosti, päädyttiin kuitenkin käyttämään Arduino Uno Rev 3-mikrokontrolleria samaan käyttöön sillä laite laajensi käytettävissä olevia sisääntulo- ja uloslähtömahdollisuuksia merkittävästi hyvin pienin kustannuksin. Laite maksaa tätä kirjoittaessa 22.1.2023 noin 32 €. (Partco, 2023)

Arduino Uno perustuu ATmega328-prosessoriin, jonka kellotaajuus on 16MHz. Se on hyvin pienikokoinen ja siinä on 14 pinniä, joita voidaan käyttää joko digitaalisina sisään- tai ulostuloina. Kuutta niistä voidaan käyttää PWM- eli pulssileveysmodulaatioulostuloina, jotka soveltuvat mainiosti esimerkiksi servomoottorin ohjaukseen. Lisäksi laitteessa on kuusi kappaletta analogisia sisääntuloja. Lisäksi laitteessa on USB-liitäntä sekä liitin ulkopuoliselle virtalähteelle. Arduino Uno kytkettiin Rasperry Pi-tietokoneeseen sarjaväylän avulla käyttäen USB-kaapelia. Kuvassa 2 näkyy Arduino Uno-mikrokontrolleri.

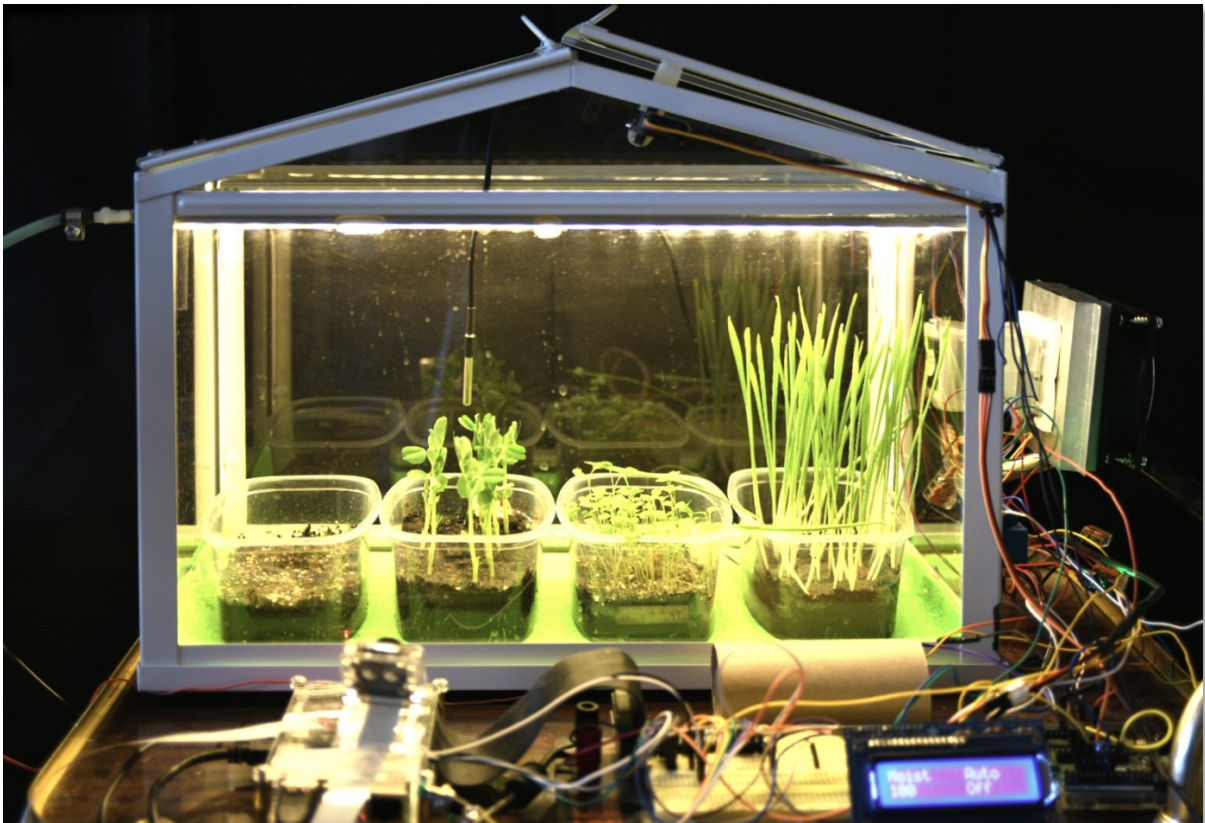
Kuva 2. Arduino Uno Rev 3.



### 3.3 Kasvihuone

Prototyypikasvihuoneeksi valittiin Ikean noin 45x21x35 senttimetrinen harjakattoinen minikasvihuone. Kirjoitusprosessin aikana kyseinen kasvihuone ei ole enää Ikean valikoimassa, mutta sen hinta oli noin 25 € ostohetkellä. Kasvihuoneessa on metallirunko, läpinäkyvästä muovista valmistetut seinät ja katto. Molemmat puolet kasvihuoneen kattopaneeleista ovat saranoitu tuuletus- ja huoltotarkoitusta varten. Kasvihuoneen pieni koko ja helposti muokattavat materiaalit sopivat käyttötarkoitukseen mitä mainioimmin. Kuvassa 3 kasvihuoneen prototyyppi.

Kuva 3. Prototyyppi kasvihuoneesta.



### 3.4 Anturit

Laitteistoon on liitetty useita antureita. Antureiden valinta perustui useimmiten erilaisten prototyyppien rakentamiseen keskittyneiden Internet-sivujen suosituksiin. Suurin osa niistä tilattiin erinäisten nettikauppojen kautta ja kaikki anturit ovat helposti saatavilla edulliseen hintaan. Prototyyppiä rakentaessa antureiden luotettavuus ei ollut merkittävä valintakriteeri, tavoitteena oli pääasiassa kerätä tietoa, jonka perusteella ohjelmisto oli mahdollista rakentaa.

#### 3.4.1 Valovastus

Valoisuuden mittaamisen suhteen päädyttiin käyttämään perinteistä valovastusta sen luotettavan toiminnan ja yksinkertaisuuden vuoksi. Yksinkertainen ja edullinen valovastus kytkettiin Arduinin analogiseen sisääntuloon mittaamaan vallitsevaa luonnonvalon määrää.

Tämän tieto estää automaattista valaistusta palamasta silloin kun vallitsevaa luonnonvaloa on riittävä määrä. Vallitsevan valon mittaukseen käytettiin edullista VTG935G-valovastusta kytkettyä Arduinon analogiseen sisääntuloon. Valovastuksen hinta oli rakennushetkellä noin 0,06 €.

### **3.4.2 Lämpötila-anturi**

Kasvihuoneen lämpötilaa mitataan DS18B20-lämpötila-anturilla. Anturi on digitaalinen ja se on kytketty Raspberry Pi:hin 1-johdinkytkeä käyttäen pinniin GPIO4. Tämä vaatii Raspberry Pi:n asetuksista I2C- väylän (Inter-Integrated-Circuit bus) aktivoimista. DS18B20-anturi on osoitteellinen ja samaan sisääntuloon olisi mahdollista liittää useampiakin antureita. Hinta ostohetkellä noin 2,5 €.

### **3.4.3 Kosteus- ja lämpötila-anturi**

Laitteiston konehuoneeseen eli Raspberry Pi:n koteloon päätettiin asentaa sekä lämpötila-että kosteusanturi DHT 11. Se on edullinen muutaman euron anturi, ja yleisesti saatavilla oleva komponentti. Haittapuolena on anturin hidas sekä reagointi- että lukuaika. Anturin rakenne ei ole vedenpitävä, joten se ei sovellu asennettavaksi kasvihuoneen sisäisen lämpötilan tarkasteluun. Myös anturin resoluutio on rajoittunut, mutta tässä tapauksessa siitä ei aiheutunut suurempaa ongelmaa. (Techatronic, 2023)

### **3.4.4 Maaperän kosteusanturi**

FC-28-anturi on alle 2 euroa maksava kosteusanturi, joka soveltuu mainiosti kasvihuonekäyttöön analogisen ja digitaalisen lähtönsä ansiosta. Analoginen lähtö sopii paremmin kasvihuoneen tiedonkeruuseen, sen digitaalisen lähdön arvo muuttuu ainoastaan esiasetetun potentiometrillä asetetun raja-arvon muuttuessa.

### 3.4.5 Etäohjattava pistorasia

Shelly Plug S on edullinen, hankintahetkellä noin 20 € maksava etäohjattava pistorasia, jolla voi mitata esimerkiksi tehoa ja kulutusta. Se kytketään suoraan pistorasiaan, joten erillistä koulutusta tai ammattitaitoa sen käyttöönottoon ei vaadita. Laite soveltuu maksimissaan 10 ampeerin kuorman ohjaukseen, eli siihen kytkettävien laitteiden enimmäisteho voi olla yhteensä maksimissaan 2300W. Sen sisäinen tehonkulutus on alle watin, ja sen sisäänrakennetun Wifi-yhteyden avulla sitä voidaan ohjata esimerkiksi älypuhelimien tai langattomaan verkkoon kytketyn tietokoneen kautta. (Shelly, 2023)

Shellyn tuotteet valmistetaan Bulgariassa ja ne ovat energiakriisin aikana kasvattaneet suosiotaan merkittävästi. Syitä siihen on esimerkiksi edullinen hankintahinta, useimpien tuotteiden ohjelmointimahdollisuus ja niin sanottu skriptituki, joilla esimerkiksi älyreleillä voidaan rakentaa monimutkaisiakin pörssisähkön hintaa seuraavia järjestelmiä. Niiden avulla on helppo tehdä esimerkiksi pörssisähkөөoptimoituja lämmitys- ja latausratkaisuita.

Shelly Plug S ei tue skriptejä, mutta tähän käyttötarkoitukseen sen virtaa ja tehoa mittaavat ominaisuuden sopivat hyvin. Lisäksi se mahdollistaa kasvihuoneen virran katkaisun ja kytkennän etänä joko tietokoneelta tai älylaitteelta käsin.

## 4 Ohjelmisto

Järjestelmä ohjelmoitiin Raspberry Pi-tietokoneella pyörivää Node-RED-ympäristöä käyttäen. MacIntosh-tietokoneen OS X- käyttöjärjestelmän Screen Sharing-ohjelma mahdollisti helpon yhteyden Raspberryyn, eikä erillistä näyttöä, näppäimistöä tai hiirtä tarvittu lainkaan.

### 4.1 Raspberry Pi

#### 4.1.1 Käyttöjärjestelmä

Raspberry Pi:n käyttöjärjestelmäksi valittiin sen käytetyin käyttöjärjestelmä "Raspbian", jota päivitettiin jatkuvasti projektin edetessä ja sen viimeisin versio on "Bullseye" eli versio tätä



opinnäytetyötä kirjoittaessa oli numero 11. Käyttöjärjestelmä muistuttaa Windows-maailmaa ja tarvittavat asiat löytyvät helposti graafisen käyttöliittymän kautta asiaan vihkiytymättömällekin.

Raspberry Pi:ssä ei ole sisäänrakennettua massamuistia, vaan useimmiten käyttäjät asentavat laitteeseen SD-muistikortin. Se on edullinen vaihtoehto ja sen voi myös ostaa niin sanottuna NOOBS-versiona eli muistikortille on asennettu apurit, joilla haluttu käyttöjärjestelmä saadaan helposti asennettua kyseiselle kortille.

#### **4.1.2 Node-RED**

Node-RED toimii mainiosti Raspberry Pi-tietokoneessa, jonka teho riittää hyvin pyörittämään järjestelmää. Ohjelmiston asentaminen on helppoa, samoin päivitys. Node-RED määriteltiin käynnistymään automaattisesti, kun Raspberry Pi käynnistetään.

#### **4.1.3 Terminal**

Raspbian-käyttöjärjestelmän yksi tärkeimmistä työkaluista on Terminal-komentorivi, johon on helppo syöttää Unix-kielisiä komentoja. Vaikka Raspberry Pi:n graafinen käyttöliittymä (GUI) on kätevä ja helppo, on useimmiten helpompaa hoitaa päivitykset sekä uusien ohjelmistokomponenttien asennukset ja järjestelmän ylläpito komentoriviltä.

### **4.2 Node-RED**

Node-RED on ohjelmointityökalu, jonka kehitti alun perin amerikkalainen IBM eli International Business Corporation. J. Paul Morrisonin kehittämä tapa kuvailla sovelluksen toimintaa mustien laatikoiden verkostona tai solmuina oli alkuna lohkopohjaisen ohjelmoinnin idean syntyyn. Vuonna 2013 Nick O’Leary ja Dave Conway-Jones kehittivät tämän ajatuksen pohjalta graafisen työkalun ohjelmointiin, joka sai nimen Node-RED.

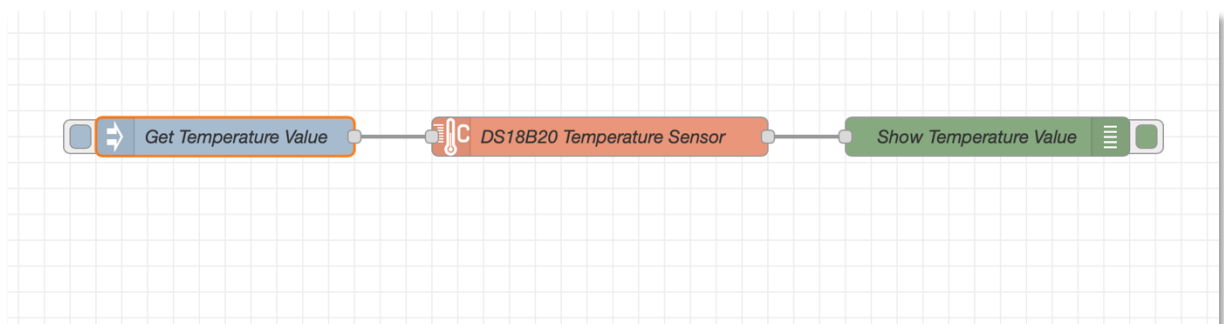
Morrisonin alkuperäisen idean mukaisesti jokaisella solmulla, jota jatkossa kutsutaan nodeksi on spesifi määritelty tehtävä. Sille annetaan tietoa, jolle tehdään jotain ja muokattu tieto välitetään eteenpäin.

Node-REDin näennäisen yksinkertainen ja hyvin visuaalinen toiminta johtaa siihen, että se on huomattavasti helpommin lähestyttävissä kuin useat muut ohjelmointikielet tai ohjelmointityökalut. Node-RED pohjautuu Node.JS-ohjelmointikieleen, joka puolestaan perustuu JavaScript-kieleen.

Node RED-nimi on sanaleikki Code Red-termistä, joka tarkoittaa korkeaa valmiustilaa, jolla suojaudutaan uhkaavaan vaaraa vastaan (Free Dictionary, 2023)

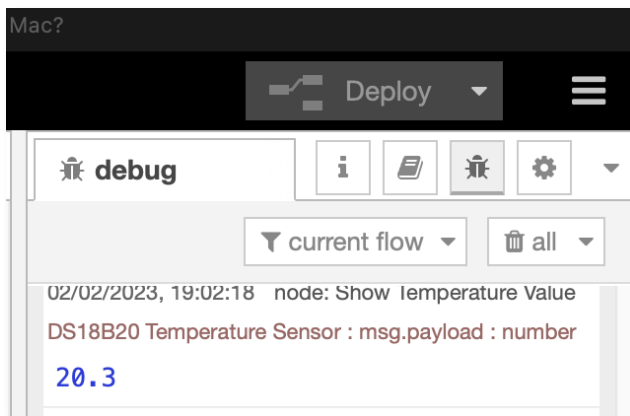
Usein Node-REDistä puhutaan esineiden Internetin eli IoT:n yhteydessä. Sillä on kuitenkin mahdollista tehdä huomattavan monimutkaisia järjestelmiä huolimatta yksinkertaisesta käyttöliittymästä. Yksinkertaisimmillaan ohjelmointityökaluun lisätään Inject-node, joka kytketään esimerkiksi DS18B20-lämpötila-anturiin. Tämä node kytketään Debug-nodeen, joka näyttää anturin arvon Debug-ikkunassa. Kuvassa 4 esimerkki Node-RED-flowsta.

Kuva 4. Yksinkertainen esimerkki Node-RED-flowsta.



Debug-ikkunaa käytetään tutkimaan toimiiko järjestelmä oikein ja siitä on helppo lukea missä muodossa nodet lähettävät tietoa, kopioida polkuja jatkokäsittelyä varten sekä yksinkertaisimmillaan tarkkailla esimerkiksi eri antureiden lähettämiä arvoja. Kuvassa 5 näytetään esimerkki debug-ikkunan arvosta.

Kuva 5. Msg.Payload-arvo Debug-ikkunassa



Useimmiten on kuitenkin kätevämpää esittää esimerkiksi antureilta saatu tieto graafisessa muodossa. Tätä tarkoitusta varten Node-RED-ympäristössä on käytössä kojelauta, jonne on helppo sijoittaa erilaisia mittareita, näyttöjä tai graafeja tiedon esittämiseen. Tätä kojelautaa kutsutaan vastedes nimellä Dashboard. Esimerkki Dashboard-näkymästä näytetään kuvassa 6.

Dashboard on erikseen lisättävä Node-RED-ympäristöön, eikä se sisälly perusasennukseen. Käyttöliittymän rakentamiseen on tarjolla Dashboardin lisäksi useita vaihtoehtoja, esimerkiksi Freeboard, mutta tässä projektissa päädyttiin käyttämään Dashboardia.

Kuva 6. Esimerkki Dashboardista.



Suuri etu Node-RED-ohjelmointiympäristön käyttöä ajatellen on suuri käyttäjämäärä, jonka ansiosta hyvin monelle siihen liitettävälle laitteelle löytyy valmis node. Niiden parametrejä muokkaamalla on helppo rakentaa toimiva laiteympäristö hyvin pienellä vaivalla tai alkuosaamisella. Kuitenkin ohjelmointiympäristö tarjoaa käytettäväksi huomattavasti monimutkaisempia työkaluja aihetta syvemmin tutkimalla.

## 5 Tietoturva Raspberry Pi- ja Node-Red-ympäristössä

Raspberry Pi-minitietokoneen tavoiteltu turvallisuustaso riippuu tietenkin merkittävästi siitä, mitä sillä on tarkoitus tehdä. Tässä tutkimuksessa laitteen kautta ei ollut tarkoitus välittää tietoturvallisuuden kannalta arveluttavaa tietoa, mutta Raspberry Pi mahdollistaa kuitenkin samassa lähiverkossa ollessaan pääsyn samassa verkkoympäristössä oleviin laitteisiin, jos tietoturva ei ole kunnossa. Siksi vähintäänkin perusasiat on syytä laittaa kuntoon.

Suositteluvia suojaustapoja IoT-laitteiden suojaamiseksi ovat reitittimien nimien ja salasanojen vaihto, vahvat salasanat, julkisten verkkojen välttely, vierasverkon käyttöönotto, langattoman verkon vahva suojaus sekä IoT-verkon ylimmän tason suojaus. (Kaspersky, 2023)

Tässä opinnäytetyössä laitteisto liitettiin palomuurin kautta omaan IoT-laitteiden lähiverkkoon, joka on suojattu WPA2-salausstandardilla. Myös oletussalasana ja käyttäjätunnus vaihdettiin.

### 5.1 Raspberry Pi-tietokoneen tietoturvallisuuden kannalta tärkeät perustoimet

Tärkein Raspberry Pi:n turvallisuuteen liittyvä asia on pitää järjestelmä ajan tasalla eli päivittää käyttöjärjestelmää tasaisin väliajoin. Se onnistuu helposti käyttämällä komentoriviä, eikä vaadi käyttäjältä sen suurempia ponnisteluja. (Jolles, 2023)

Tärkeää on myös, että Raspberry Pi:ille vaihdetaan oletussalasana. Tämän pitäisi olla nykyään itsestään selvää, mutta usein prototyyppisiä rakennellessa perusasiat unohtuvat, kun projektissa on kiinnostavampiakin aiheita. Yhtä tärkeitä on myös vaihtaa

oletuskäyttäjänimi. Seuraavaksi kannattaa asentaa palomuuuri, johon useimmiten komentoriviin tottumattomille suositellaan UFW-nimistä ohjelmistoa, jonka nimi tulee sanoista "Uncomplicated Firewall". (Jolles, 2023). Tässä projektissa päädyttiin kuvattuihin tietoturva-ohjelmistoihin.

Jotta Raspberry Pi-tietokoneeseen päästäisiin käsiksi komentoriviltä, palomuurin asentamisen jälkeen avattiin portti 22 SSH-yhteyttä varten. SSH tulee sanoista Secure Shell ja se on ohjelmistopaketti, joka mahdollistaa turvallisen järjestelmähallinnan turvattoman verkkoyhteyden yli. SSH on hyvin laajasti käytössä ja sen kehittäjä on Tatu Ylönen, joka työskentelee edelleen aiheeseen liittyvissä tehtävissä. (SSH academy, 2023)

Palomuurin aktivoimisen jälkeen avattiin yhteys paikallisen verkon IP-osoitteelta laitteiston ohjelmointia varten. Tarvittava portti on Node-Redille 1880. Ohjelmoinnin ajaksi sallittiin kaikki liikenne paikalliseen verkkoon kytketyltä MacBookPro-tietokoneelta.

## 5.2 Node-RED-tietoturva

Myös itse Node-RED on syytä suojata. Node-RED-editorille on syytä asentaa salasana verkon sisältä asiattoman käytön estämiseksi. Tämä tapahtuu Node-REDin settings.js-nimistä tiedostoa muokkaamalla. Ohjeet ovat itse tiedostossa selkeät, määritellään käyttäjä ja tälle käyttöoikeuksien laajuus. Sen jälkeen käytetään Node-REDin omaa salasanan generointityökalua, joka luo salatun avaimen, joka lisätään settings.js-tiedostoon. Nyt tästä eteenpäin editori kysyy luotua salasanaa.

## 5.3 Turvallinen etäyhteys

Zerotier on ohjelmisto, joka yhdistää VPN:n eli virtuaalisen yksityisen verkon ja SD-WAN-verkkoratkaisun eli ohjelmistomääritteisen verkkoratkaisun samaan palveluun. Sen käyttö on hyvin yksinkertaista ja alle 25 siihen liitetyn laitteen ja yhden ylläpitäjän järjestelmän käytössä ilmainen ja helppokäyttöinen vaihtoehto. Se on 256-bittisesti salattu päästä päähän. Yrityksen oman ilmoituksen mukaan sillä on yli 750000 aktiivista kuukausikäyttäjää ja yli 3 miljoonaa siihen liitettyä laitetta. Se toimii Windows-, MacOS-, Android-, iOS-, Linux-,

FreeBSD- sekä NAS-ympäristöissä. Ohjelmistolla on helppo rakentaa oma yksityinen verkkoratkaisu, jolloin fyysisesti toisistaan riippumattomat laitteet toimivat ikään kuin ne sijaitsisivat samassa lähiverkossa. (Zerotier, 2023)

Ohjelmiston asennuksen jälkeen luodaan verkko, johon lisätään siihen halutut laitteet. Tämä tapahtuu Zerotier-sivun Create Network-sivun kautta helpoiten omalla tietokoneella. Verkon määrittelyn jälkeen asennetaan verkkoon liittyviin laitteisiin Zerotier-client-ohjelmat. Raspberry Pi:n tapauksessa asennus tapahtuu komentoriviltä. Suoraviivaisen asennuksen jälkeen Zerotier Client käynnistyy Raspberry Pi:ssä automaattisesti myös uudelleenkäynnistyksen jälkeen. Asennusta varten tarvitaan aiemmin luotu verkkotunnus. Sen jälkeen Zerotier Central-sivun kautta hyväksytään Raspberry Pi verkon osaksi. (PiMyLifeUp, 2023)

Tämän jälkeen voi verkkoon lisätä etäyhteyttä tarvitsevat laitteet, tässä tapauksessa päädyttiin käyttämään sekä MacIntosh PowerBook-tietokonetta, että iPhone 8+ - matkapuhelinta. Matkapuhelimen asennus on suoraviivaista, ladataan Client-ohjelmisto, käynnistetään se, kirjoitetaan verkon tunnuksiksi Network Id ja hyväksytään laite osaksi verkkoa Zerotier Central-verkkosivuilla. Samoin MacIntosh-tietokone on helposti yhdistettävissä virtuaaliseen lähiverkkoon. Näin lähes mitä tahansa laitteita on mahdollista liittää luotuun virtuaaliseen lähiverkkoon.

## **6 Kasvihuonekasvatuksen olosuhteiden tavoitteet**

Kasvihuoneen kasvatusolosuhteiden optimoinnissa tärkeää on muun muassa lämpötilan säätö. Tavoitelämpötila riippuu kasvatettavista kasveista, tärkeää on, että sen voi asettaa kasvatettavan kasvin mukaisesti. On erityisen tärkeää, että jäähdytys järjestyy nopeasti, kun sitä tarvitaan. (Åberg Secher, 1998). Esimerkiksi tomaatin kasvatuksessa on erityisen tärkeää, ettei lämpötila nouse yli 27 asteeseen. (Martat, 2023)

Kasvihuoneen kosteuden suhteen pyritään kasvualustan tasaiseen kosteuteen liikakastelua välttämällä. Se tukahduttaa ja mädättää kasvit. Lepoaikana kasvit tarvitsevat huomattavasti kuivempia olosuhteita. (Åberg Secher, 1998, ss. 40-53)

Esimerkiksi tomaattien kasvatukseen maaperän kosteuden tulisi olla tasainen muttei märkä. Maaperä ei saa kuivua. (Raivio & Heinonen, 2023)

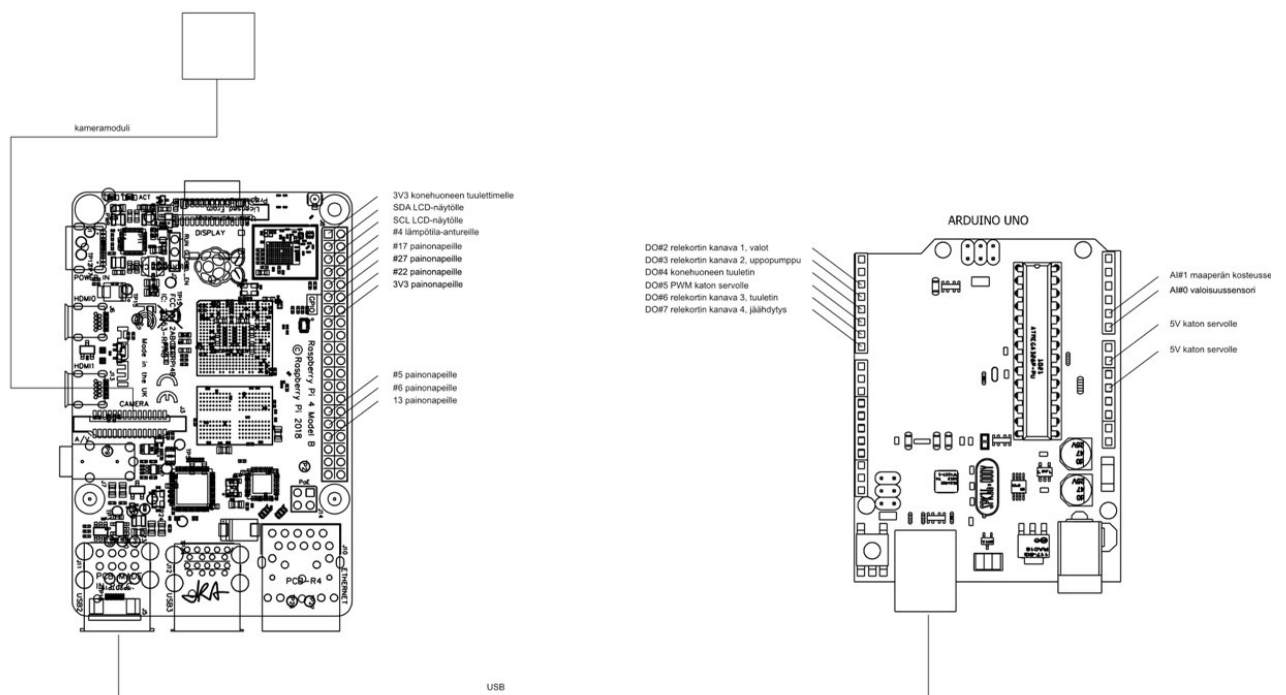
Kasvihuoneessa on syytä olla keinovalaistus, jos luonnonvaloa on niukalti saatavilla. Led-valaisimet sopivat sellaisenaan kasveille, mutta parempi hyötysuhde saavutetaan käyttämällä koko spektrin sisältävää kasvivaloa. (Vireaho, 2023)

Tässä projektissa päädyttiin kustannussyistä käyttämään värilämpötilaltaan 4000:n Kelvinin led-nauhasta rakennettuja kasvihuonevalaisimia.

## 7 Kasvihuonejärjestelmän rakentaminen

Kasvihuoneen toimilaitteet kytkettiin Raspberry Pi-tietokoneeseen sekä Arduino Uno Rev 3 mikrokontrolleriin. Kuvassa 7 esitellään laitteiston yksinkertaistettu kytkentäkaavio ilman toimilaitteiden jännitesyöttöjä tai T-Coupler-kytkentärimaa.

Kuva 7. Kytkentäkaavio.



## 7.1 Kasvihuone

Kasvihuonejärjestelmän rungoksi valittiin Ikean noin 45x21x35 pienoiskasvihuone sen edullisuuden ja helpon muokattavuuden vuoksi. Sen seinät ovat läpinäkyvää ja suhteellisen helposti muokattavaa muovia ja peltinen rakenne helposti työstettävissä.

Kasvihuoneen avattaviin kattoluukkuihin asennettiin Tower Pro sg90-pienoisservomoottori, jonka sarvi avaa tarvittaessa kasvihuoneen kattoluukun. Sitä ohjataan pulssinleveysmodulaatio- eli PWM-ohjauksella, jolloin pulssin pituudella vaikutetaan servomoottorin asentoon. Käyttöjännitteen servomoottori saa suoraan Arduino-mikrokontrollerilta, ohjausjännite on kytketty Arduinon PWM-lähtöön.

Servomoottorin etuna on edullisen hinnan lisäksi sen vääntömomentti. Noin 9 gramman painoinen miniservo voi nostaa 1,8 kilogramman painon sentin mittaisella vipuvarrella. (Hutasu.net, 2023) Kuvassa 8 näkyy projektissa käytetty miniservomoottori.

Kuva 8. Miniservomoottori.



Kasvihuoneen valaistus toteutettiin yksinkertaisesti asentamalla 24-voltin led-nauhat alumiiniprofiileihin. Tarvittava 24-voltin käyttöjännite kytkettiin 4-kanavaisen relemodulin kautta virtalähteeltä led-nauhoille. Relemodulia ohjataan Arduinon digitaalilähdöillä. Samaa relemodulia käytettiin myös uppopumpun, jäähdytyksen sekä tuuletuksen ohjaukseen. Relemodulissa on 4 potentiaalivapaata kytkentäpistettä, jotka mahdollistavat useiden eri tasoisten käyttöjännitteiden käyttämisen laitteiden tarpeiden mukaan.



Kastelujärjestelmä toteutettiin yksinkertaisella minikokoisella kolmen voltin uppopumpulla. Pumppu on edullinen, hinta ostohetkellä noin 5 euroa. Laite pumppaa vesisäiliöstä vettä ja siihen lisättyjä ravintoaineita niitä tarvittaessa läpinäkyvästä putkesta rakennettuun ”sprinkleriin”, joka on sijoitettu kasvatusalustojen yläpuolelle kasvihuoneen kattoon. Pumppu voidaan upottaa ja sen maksimi nostokorkeus on 80 senttiä 5 mm:n letkulla. (ElecFreaks, 2023). Kuvassa 9 esitellään projektissa käytetty uppopumppu, kuvassa 10 kastelujärjestelmä toiminnassa.

Kuva 9. Uppopumppu.



Kuva 10. Sprinkleri kastelemassa kasvatusalustoja.



Jäähdytysjärjestelmä toteutettiin rakentamalla jäähdytyskone peltier-elementistä, johon kiinnitettiin tuulettimet sekä jäähdytyslementti. Peltier-elementti on puolijohdekomponentti, jolla voidaan tarvittaessa tuottaa lämpöä tai jäähdyttää. Sen hyviä puolia ovat yksinkertainen rakenne, eikä kylmäaineita tarvita lainkaan. Sitä voi käyttää myös lämpötilan mittaamiseen tai generoimaan sähköä. (Turkia, 2023)

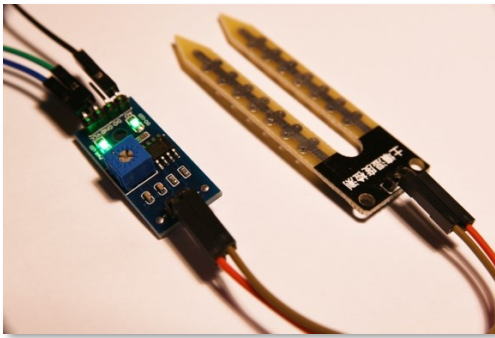
Tässä projektissa peltier-elementin ainut käyttötarkoitus oli jäähdytys. Elementin napaisuuden käännöllä olisi hyvin yksinkertaista käyttää sama järjestelmää lämmön tuottoon. Tässä tapauksessa se ei osoittautunut tarpeelliseksi, kasvihuone sijaitsi sisätiloissa, joissa normaalisti olosuhteet ovat säädetty mukavaan asumiseen.

Vaikka peltier-elementin hyötysuhde on huono, se sopi mainiosti projektin jäähdytysratkaisuksi jälleen kerran suhteellisen edullisen hintansa, sekä yksinkertaisen toimintaperiaatteensa ansiosta.

Peltier-elementti oli myös laitteiston ainut komponentti, joka vaati kahdentoista voltin käyttöjännitteen sekä 60 watin tehon. Sitä varten sille asennettiin tyystin oma teholähde, jota ei käytetty muiden laitteiden sähköistämiseen lukuun ottamatta peltier-elementin jäähdytysrivastoon kytkettyä 12 voltin tuuletinta.

Kasvihuoneen olosuhteiden mittaamiseen päätettiin käyttää maaperän kosteuden mittaamiseen tarkoitettua FC-28-anturia. Anturin voi kytkeä joko analogisesti tai digitaalisesti, tässä tapauksessa anturi päätettiin kytkeä Arduino-mikrokontrollerin analogiseen sisääntuloon. Anturin digitaalinen lähtö antaa ainoastaan tiedon siitä, onko anturin potentiometrillä asetettu kosteuden kynnyсарvo ylitetty. (Dataseet Hub, 2023) Anturi vaatii toimiakseen 3,5–5 voltin käyttöjännitteen, joka syötettiin sille ulkopuolisesta virtalähteestä. Kosteusanturi esitellään kuvassa 11.

Kuva 11. Maaperän kosteusanturi.

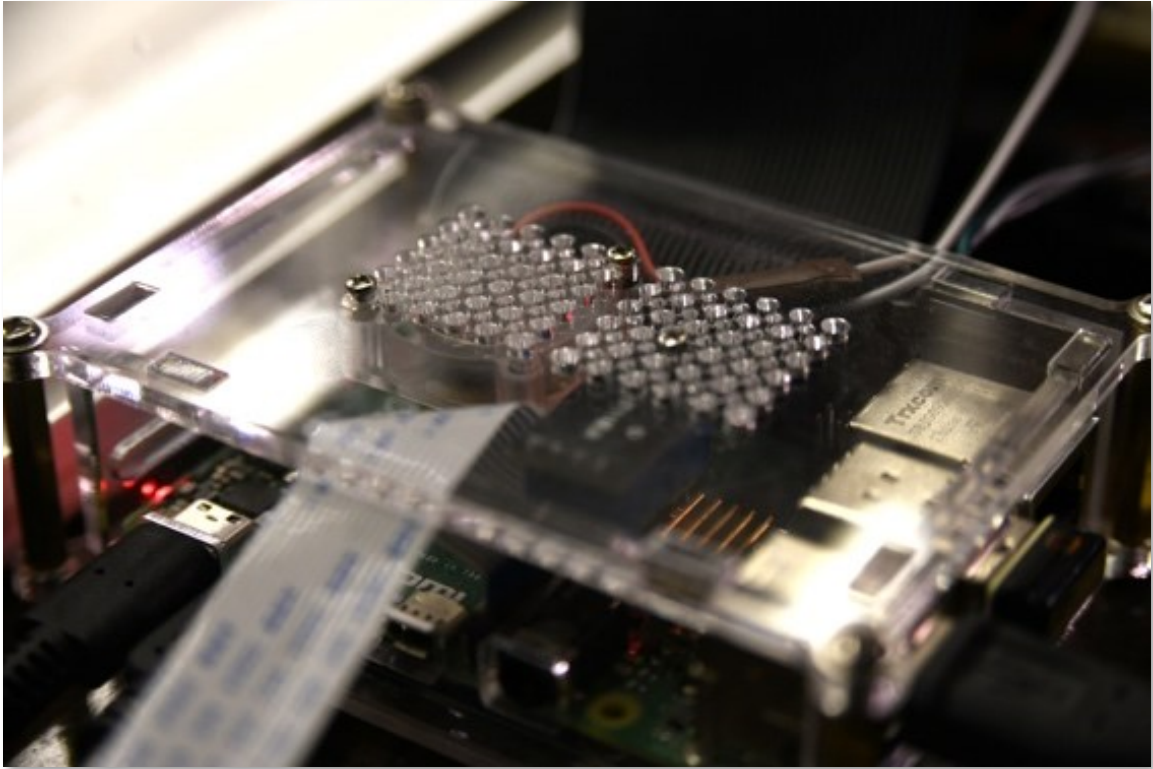


Lämpötilan tarkkailuun päätettiin käyttää vettä kestävää DS18B20-anturia. Anturi käyttää 1-wire-protokollaa, jota Raspberry Pi tukee, mutta se tulee aktivoida, oletuksena se on deaktivoitu. Sillä voi mitata lämpötilaa  $-55^{\circ}\text{C}$ -asteen ja  $+125^{\circ}\text{C}$ -asteen välillä 0,1 asteen tarkkuudella.

Vallitsevaa valotilannetta tarkasteltiin yksinkertaisesti Arduinon analogiseen sisääntuloon kytketyllä valovastuksella, jonka arvot kalibroitiin 0–100 %:n asteikolle täydestä pimeästä valaistuksen maksimikirkkauteen.

Laitteiston varsinaista ydintä eli Raspberry Pi-tietokonetta monitoroitiin sekä kosteuden, että lämpötilan suhteen DHT-11-anturilla. Laitteen prosessorin päälle asennettiin jäähdytysiilit sekä minituuletin, joka tarvittaessa viilentää laitteiston lämpötilan noustessa prosessorin yläpuolella kotelon sisällä yli  $37^{\circ}\text{C}$ . Linuxin terminaaliin syötettävä `Vcgencmd` `measure_temp`-komento, joka monitoroi Raspberry Pi:n prosessorin lämpötilaa, näyttää huomattavasti suurempia arvoja, mutta arvot ovat prosessorin sisäisiä arvoja, ei kotelon sisälämpötiloja. (nixCraft, 2023). Kuvassa 12 näytetään kuva prosessorituulettimesta ja DHT11-anturista.

Kuva 12. Prosessorin tuuletin ja DHT11-anturi.



Raspberry Pi:n lämpötilaa ei ole välttämätöntä seurata ei-kriittisissä applikaatioissa, koska tietokone osaa laskea kellotaajuuttaan, jos lämpötila nousee liian korkeaksi, joka luonnollisesti laskee laitteen suorituskykyä, mutta suojelee sitä suuremmilta vahingoilta. Useimmiten riittää pelkkä passiivinen jäähdytys esimerkiksi jäähdytysileillä, mutta toisinaan tarvitaan lisäksi aktiivisia ratkaisuja, useimmiten tuulettimia. Aktiivisten ratkaisuiden tarve korostuu erityisesti, jos Raspberry Pi on asennettu koteloon, kuten tässäkin tapauksessa. Vaikka kotelossa oli tuuletusreiät, päätettiin siihen lisätä pieni tuuletin jäähdytysileiden tueksi.

## 7.2 Ohjausjärjestelmä

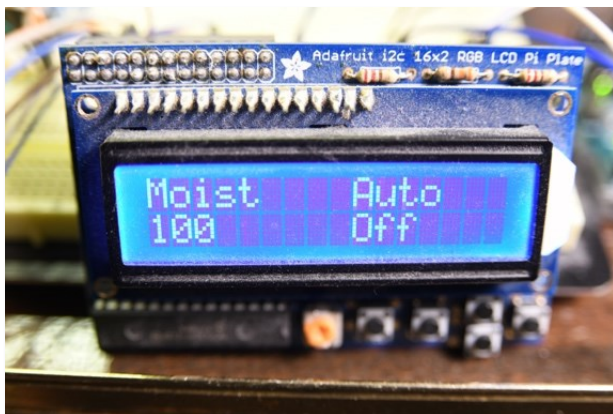
Kasvihuoneen ohjausjärjestelmä perustuu pääosin Node-Red-ympäristön kautta tapahtuvaan operointiin. Sen lisäksi laitteistoon päätettiin liittää yksinkertainen järjestelmä, jonka avulla laitteistoa pystyy käyttämään manuaalisesti varsinaiselta käyttöpaikalta. Laitteistoon liitettiin viisi painonappia, joilla pystyy käsikäyttöisesti avaamaan ja sulkemaan

katon, sytyttämään ja sammuttamaan valaistuksen, käynnistämään ja pysäyttämään uppopumpun, tuulettimet sekä jäähdytyksen. Jotta napit eivät käyttäisi tuhattomasti i/O-kapasiteettia, päätettiin niiden toiminta toggle-tyyppiseksi, eli sama nappi sekä aktivoi halutun toiminnan, että kytkee sen pois päältä.

Lisäksi laitteistoon kytkettiin 16x2-kokoinen LCD-näyttö, joka näyttää laitteiston automaation senhetkisen tilan, eli toimiiko kasvihuone automaatio päällä vai poiskytkettynä, lämpötilan, maaperän kosteuden sekä valaistuksen tason. LCD-näytössä on myös painonapit, joilla automaatio on kytkettävissä päälle tai pois. Automaation ollessa käytössä paikallinen ohjaus toimii, mutta automaation kautta tulevat viestit ohittavat käsikäytön nopeasti, toisin sanoen, jos laitteistoa haluaa ohjata manuaalisesti, automaatio on syytä kytkeä pois käytöstä.

Node RED-ympäristön peruskomponenttien lisäksi ladattiin lukuisia ulkopuolisia nodeja, esimerkiksi astronominen kello, Arduinoon liittyvät nodet, sekä erilaisten antureiden ja toimilaitteiden toimintaa ohjaavat nodet. Myös laitteiston toiminnan visualisointia varten asennettiin Dashboard-laajennus, jolla voidaan piirtää esimerkiksi graafeja tai rakentaa ohjelmaa ohjaavia painikkeita, säätimiä ja täytettäviä teksti- ja numerokenttiä. Kuvassa 13 näkyy LCD-näyttö.

Kuva 13. LCD-näyttö esittää maaperän kosteuden ja automaation tilatiedon.



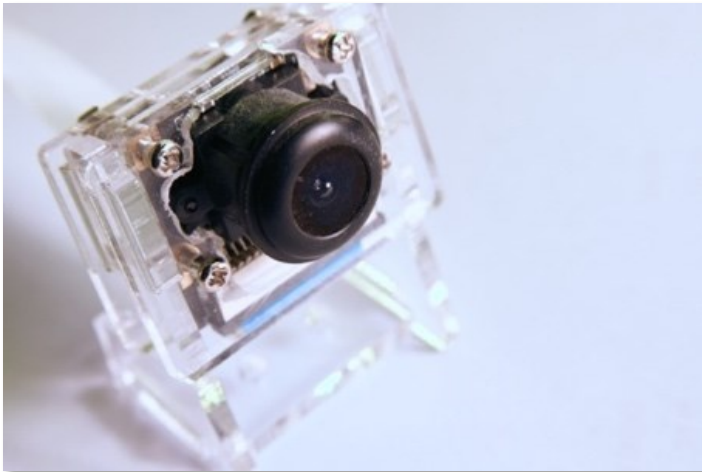
### 7.3 Kamera

Laitteistoon kytkettiin myös kameramoduuli, jolla mahdollistettiin lähes reaaliaikaisen kuvan lähettäminen esimerkiksi kasvihuoneen ylläpitäjän sähköpostiin sekä Node-Red-Dashboardiin. Kameralla voi ottaa ja tallentaa myös säännöllisin väliajoin kuva, joita voidaan myöhemmin käyttää erinäisiin tarkoituksiin, esimerkiksi kasvatuksesta kuvattuun Timelapse-videoon.

Kameraksi valittiin jälleen kerran edullinen peruskameramoduuli Camera Board V2 8MP, joka kytkettiin Raspberry Pi:n CSI- eli kameraporttiin. Resoluutioltaan kamera on varsin keskinkertainen 8 megapixelin tarkkuudellaan, mutta sopi käyttötarkoitukseen mainiosti. Kamera asennettiin läpinäkyvään akryylistä tehtyyn jalustaan, kamera itsessään on varsin herkkä staattiselle sähkölle ja virheellisille kytkennöille, joten kokemuksen perusteella, ja kolmen rikkoutuneen kameralan jälkeen päädyttiin kameraa suojaavan kotelon asentamiseen.

Kameramoduuli esitellään kuvassa 14.

Kuva 14. Kameramoduuli ja kotelo.

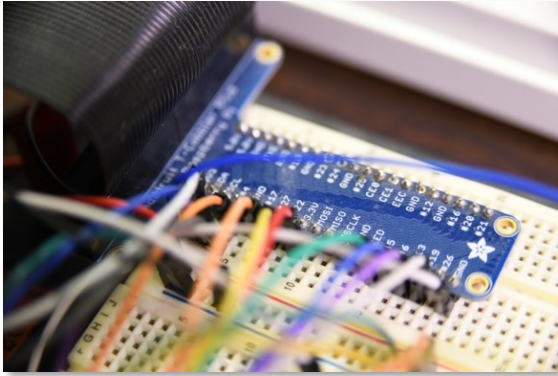


### 7.4 KytKentärima

Raspberry Pi:in liittimiin on tietysti mahdollista kytkeä suoraan johtimia tai pistoliittimiä, mutta pidemmän päälle tilanpuute aiheuttaa helposti virhekytkentöjä. Niinpä projektin

edetessä päädyttiin lisäämään järjestelmään niin sanottu T-Coupler, joka käytännössä siirtää Raspberryn liittimet ulkoiselle kytkentälevylle helpottaen prototyyppien rakentamista huomattavasti. Tämä ratkaisu pysyikin käytössä projektin loppuun asti. Samaan kytkentäalustaan lisättiin myös ulkopuolinen 5 voltin virtalähde ruokkimaan erinäisten laitteiden sähkötarvetta. Kytkentärima näytetään kuvassa 15.

Kuva 15. Kytkentärima.



## 8 Kasvihuoneen ohjelmisto

Kasvihuoneen ohjaus rakennettiin Node-RED-ohjelmointityökalulla, varsinainen ohjelmointi tapahtui vetämällä työpöydälle erilaisia ohjelmointipalikoita. Node-RED-ohjelmointia voisi verrata vuokaavioon, jossa jokaisen vaiheen aikana suoritetaan toiminto tai useita, jotka johtavat niitä seuraaviin jatkotoimenpiteisiin.

Koska projektin rakentaminen lähti liikenteeseen vailla mitään kokemusta Node-RED-ympäristöstä, tiedonhaku perustui pitkälti hakukoneiden tuloksiin. Varsin nopeasti kuitenkin tuli selväksi, että Github tarjosi useimmiten parhaan avun ongelman ratkaisuun.

Github on erittäin suosittu sosiaalinen verkosto, pilvipalvelin ja ohjelmistonjakopalvelu, jolla käyttäjiä on miljoonia. Se tarjoaa ohjelmistokehittäjille sivuston, jossa voi jakaa tiedostoja ja kommunikoida muiden kehittäjien kanssa. Avoimen koodin alustana se kerää aiheesta kiinnostuneita yhteen, ja tarjoaa alustan, josta avoimen lähdekoodin, tässä tapauksessa

Node-RED:iin liittyvä tieto löytyy todennäköisimmin. Nodered.org-verkkosivusto oli luonnollisesti myös merkittävässä roolissa apua etsiessä.

Youtube.com-verkkosivuston videot auttoivat alussa merkittävästi, projektin edetessä ja ohjelmistoympäristön auetessa huomioitiin, miten monella eri tavalla tietyn tyyppisen toiminnallisuuden voi rakentaa.

## 8.1 Valaistuksen ohjaus

Valoisuuden arvo luettiin yksinkertaisella valovastuksella, joka kytkettiin Arduino-mikrokontrollerin analogiseen sisääntuloon, jonka jälkeen arvot skaalattiin 0–100 %. Sen jälkeen rajoitettiin arvojen määrää, tässä tapauksessa yhteen arvoon sekunnissa. Sen jälkeen arvo kirjoitettiin globaaliin muuttujaan ja arvoa verrattiin asetettuun raja-arvoon. Jos valoa ei ollut tarpeeksi, sytytettiin kasvihuoneen valaistus laittamalla 4-kanavaisen relekorttia ohjaava Arduinon digitaalilähtö päälle, olettaen että sekä kasvihuoneen automaatti, että astronominen kello ovat aktiivisia. Automaation tila määriteltiin Switch-nodessa globaalilla muuttujalla, joka päällä ollessaan ohjaa relettä ohjaavat viestit ensimmäiseen lähtöön, joka on kytketty relettä ohjaavan noden sisääntuloon. Jos muuttujalla on jokin muu arvo kuin päällä, ohjattiin viestit Switch-noden toiseen lähtöön, jota ei ole kytketty minnekään. Lisäksi piirrettiin erilliselle Dashboard-lehdelle käyrä valaistustasosta ja tieto valaistuksen tilasta. Tätä varten True- ja False-viestit konvertoitiin Change-nodessa On- ja Off-viesteiksi. Astronominen kello ohjasi Simple Gate-nimistä nodea, joka päästää sen kautta kulkevat viestit läpi, jos astronomiselta kellolta tuli Open-viesti.

Valaistuksen ohjauksen toteutusta voi tarkastella liitteestä 1.

## 8.2 Tuuletuksen ohjaus

Lämpötila luettiin vedenkestävältä DS18B20-sensorilta, jonka jälkeen tietomäärä rajattiin yhteen viestiin sekunnissa. Lämpötilahistoria piirrettiin erilliselle Dashboard-lehdelle, samoin reaaliaikainen lämpötilatieto. Tuuletinta ohjattiin 4-kanavaisen relekortin releellä, sen



ohjaussignaali kytkettiin Arduinoon. Astronomisen kellon ja automaatiota päälle- ja poisohjaavan Change-noden toiminta on samanlainen kuin valaistuksen ohjauksessa.

Jos automaatio ja tuuletuksen oma astronominen kello on päällä, tuuletus aktivoitui, jos lämpötila ylitti asetetun raja-arvon. Tässä tapauksessa myös jäähdytyslaitteisto kytkettiin päälle automaattisesti.

Tuuletus aktivoitiin lisäksi kerran tunnissa muista olosuhteista riippumatta. Silloin jäähdytystä ei kytketä, tuuletus vaihtoi ilmaa, muttei varsinaisesti jäähdyttänyt kasvihuonetta.

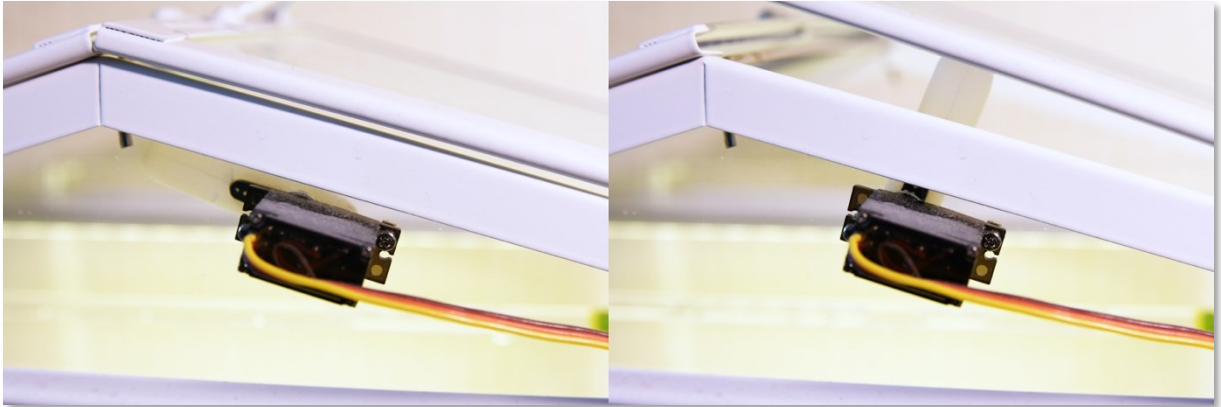
Tuuletuksen ohjauksen toteutus löytyy liitteestä 2.

### **8.3 Kattoluukun ohjaus**

Kattoluukun ohjaus linkitettiin tuuletuksen ohjauksen kanssa. Kun tuuletin käynnistyy, avautui myös kattoluukku. Koska katon avaukseen käytettävä moottori on servomoottori, jota ohjattiin pulssinleveydellä, katon ohjaukseen tarvittava True/False-signaali konvertoitiin numeerisiksi arvoiksi. Se tapahtui Node-RED:in Change Noden avulla, True sai arvon 160 ja False 70.

Kattoluukun ohjauksen toteutus on kuvattu liitteessä 3. Kuvassa 16 esitellään kattoluukun servomoottorin ääriasennot.

Kuva 16. Katon servomoottori auki- ja kiinniasennossa.



#### 8.4 Kastelun ohjaus

Maaperän kosteutta monitoroitiin FC-28-anturilla. Sen analoginen lähtö kytkettiin Arduinoon. Tietoa luettiin kerran sekunnissa ja se kirjoitettiin globaaliin muuttujaan. Sitä verrattiin asetettuun arvoon ja jos automaatio oli aktivoitu, kytki 4-kanavainen rele uoppopumpulle 3 voltin käyttöjännitteen, joka tässä tapauksessa saatiin erilliseltä 3 voltin virtalähteeltä. Syy erillisen virtalähteen käytölle oli pumpun sekä Raspberry Pi:lle, että Arduinoon aiheuttama tehon tarve, joka aiheutti helposti uudelleenkäynnistyksiä sekä muita virhetilanteita.

Maaperän kosteudesta piirrettiin käyrä sekä esitettiin pumpun sen hetkinen päällä- tai poistieto Dashboardissa. Kastelujärjestelmän Flow on kuvattu liitteessä 4.

#### 8.5 Kamera

Kameramodulin toimintaan saattaminen vaati yllättävän paljon työtä. Lukuisien Youtube.com-verkkosivuston videoiden ja tutoriaalinen avulla toiminta saatiin kuitenkin halutun kaltaiseksi. Tässä työssä, kuten monessa muussakin projektin haastavassa vaiheessa ratkaisu löytyi Githubista.

### 8.5.1 Ohjaus

Kameraa ohjattiin Raspistill-nodella, joka otti kuvan kymmenen sekunnin välein. Kuva tallennettiin Snap.jpg-nimellä. Viiden sekunnin viiveen jälkeen tiedosto luettiin Read File-noden avulla ja näytettiin Dashboardin Raspi Cam-välilehdellä.

Tämän jälkeen erillinen Inject-node aktivoi funktion erikseen määritetyllä väliajalla, joka lisäsi lähtöarvoon luvun 1. Sen jälkeen aktivoitui Fs-ops-copy-node, joka avasi Snap.jpg-tiedoston ja kopioi sen Function-noden numeroinnin mukaisesti omaan kansioon. Kansioon kopioitui siis asetetun intervallin mukaisesti numeroitu kuvasarja, jota oli myöhemmin mahdollista käyttää esimerkiksi Timelapse-videon luomiseen tai valvontakameratyypisiin sovelluksiin.

### 8.5.2 Kuvien lähetys ja poistaminen

Kameran kuva haluttiin tarvittaessa vastaanottaa myös sähköpostin välityksellä. Tämä toteutettiin Dashboardiin lisätyllä painikkeella, joka tarvittaessa lähettää viimeisimmän kuvan ennalta määriteltyyn sähköpostiosoitteeseen. Lisätyllä Inject-nodella voi tarvittaessa määritellä kuville lähetystaajuuden esimerkiksi muutaman päivän välein, tai vaikkapa tiettyinä päivinä haluttuina kellonaikoina.

Koska kuvat haluttiin vastaanottaa Gmail-osoitteeseen, aiheuttivat Gmailin turvatoiminnot hieman päänvaivaa, mutta ottamalla käyttöön kaksivaiheinen sisäänkirjautuminen ja luomalla sovelluskohtainen avain saatiin yhteys toimimaan. (Random Nerd Tutorials, 2023)

### 8.5.3 Timelapse

Timelapse-videon voi helposti laatia hakemalla Raspberry Pi:ltä Timelapse-hakemistoon kopioidut kuvat millä tahansa FTP-ohjelmistolla, joka tukee SFTP- eli SSH File Transfer-protokollaa. Numeroinnin perusteella on helppo rakentaa Timelapse-video, tässä projektissa ne laadittiin käyttäen videoiden editointiin tarkoitettua Da Vinci Resolve-ohjelmistoa, joka

on paitsi ilmainen perustason käytössä, osaa myös tehdä suoran Timelapsen kuvasarjasta, joissa kuvilla on juokseva numerointi.

Ohjelmistoon lisättiin myös mahdollisuus tyhjentää Timelapse-kansio kuvista ja nollata niiden nimeämiseen käytettävä laskuri.

Kameraan liittyvät toiminnot on kuvattu tarkemmin liitteessä 5.

## 8.6 LCD-näyttö

Laitteistoon kytketty 16x2-LCD-matriisi vaati toimiakseen i2c-väylän aktivoimisen Raspberry Pi-tietokoneesta. Väylä käyttää kahta signaalia, toisen toimiessa kellosignaalin ja toinen välittää dataa. Näyttö kytkettiin Raspberry Pi:n SCL- ja SDA-liittimiin. Lisäksi näyttö tarvitsi käyttöjännitteeksi 5 voltia, joka otettiin kytkentäriman ulkopuoliselta virtalähteeltä.

Koska LCD-näyttö on kaksirivinen, voidaan siinä näyttää tarvittavat perustiedot, eli lämpötila, maaperän kosteus ja valoisuuden aste. Näiden perustietojen lisäksi on paikallisesti tärkeää nähdä, ohjaako automaatio kasvihuonetta. Sitä varten näytöllä kierrätettiin viiden sekunnin välein niiden pyöristettyjä arvoja. Pyöristys tapahtui käyttäen Change-nodea, jonka jälkeen saadut arvot yhdistettiin käyttäen Join-nodea. Tämän jälkeen saadut tiedot tulostettiin LCD-näytön kahdelle eri riville. Viiden sekunnin päästä tulostettiin ruudulle seuraavat uudet tiedot ja arvot.

LCD-näytössä myös useampia painonappeja. Jos laitteistoon ei esimerkiksi jostain syystä saatu yhteyttä tietokoneen välityksellä, tai tarvitaan ohjaus paikallisesti esimerkiksi huoltotöitä varten, oli tärkeää, että automaation saa kytkettyä pois päältä ja päälle myös paikallisesti. Tämä tapahtui käyttämällä LCD-näytön ylös- ja alaspainikkeilla. Automaation tila näytettiin LCD-näytöllä sekä luonnollisesti Dashboardissa.

LCD-näytön ohjaus selviää tarkemmin liitteestä 6.

## 8.7 Energiankulutuksen mittaus

Shelly Plug S välitti mitattavat tiedot Node RED:ille Wifi-verkon välityksellä ja tieto piirrettiin Dashboard-ikkunan energiankulutuskäyrään sekä kirjoitettiin globaaliin muuttujaan.

Osoitteesta <https://api.spot-hinta.fi/JustNow> haettiin sähkön seuraavan 24 tunnin hinta, joka Json-noden avulla muutettiin Object-tyyppiseksi dataksi. Tästä tiedosta poimittiin ainoastaan verollinen hinta, jonka jälkeen tieto kirjoitettiin globaaliin muuttujaan. Tämän jälkeen luettiin sähkön senhetkinen tuntihinta, lisättiin mukaan siirtokustannukset ja kirjoitettiin loppusumma uuteen globaaliin muuttujaan.

Sähkön tuntihinta mukaan lukien siirtokustannukset kerrottiin kasvihuoneen reaaliaikaisella kulutuksella, ja tieto näytettiin Dashboard-ikkunassa reaaliaikaisena kustannuksena.

Energiaan liittyvä monitorointi selviää tarkemmin liitteestä 7. Kuvassa 17 näkyy Shelly Plug S-älypistorasia.

Kuva 17. Shelly Plug S.



## 8.8 Järjestelmän hallintaan liittyvät välilehdet

Järjestelmää kontrolloimaan laadittiin System Control-välilehti, jonka kautta voi sulkea tai uudelleenkäynnistää Raspberry Pi:n sekä käynnistää tai sulkea automaatio pois käytöstä.

Järjestelmän hallintaa voi tarkastella liitteestä 8.

Konehuoneen eli Raspberry Pi:n tilaa valvova välilehti on kuvattu liitteessä 9. Siinä luetan konehuoneen lämpötila- ja kosteusarvot DHT11-anturilta, lämpötilaa verrataan asetusarvoon, kosteusarvo jätetään huomioimatta.

Automaatiosta riippumattoman paikalliseen ohjaukseen tarkoitetun välilehden toiminta on kuvattu tarkemmin liitteessä 10. Siitä käsin oli mahdollista kytkeä aktiiviset komponentit automaatiosta riippumatta päälle tai pois käytöstä. Samaiselle välilehdelle tuotiin myös reaaliaikaa näyttävä Clock-node, jonka tieto piirretään Dashboardin Home-ikkunaan.

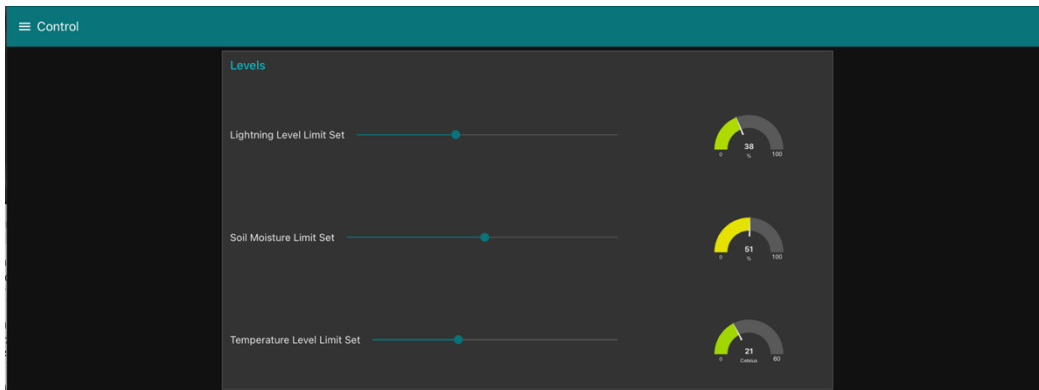
## **9 Kasvihuonejärjestelmän käyttö**

Kasvihuonekasvatuksen olosuhteiden tavoitearvoja täytyy luonnollisesti voida muuttaa kasvatettavien kasvien mukaan. Sitä varten laadittiin oma välilehti Dashboardiin. Olosuhteiden monitorointi ja kamera saivat myös omat välilehdet.

### **9.1 Alkuparametrien asetukset**

Tarvittavat tavoitearvot asetettiin Dashboardin Control-välilehdeltä liukusäätimin. Asetettavia arvoja on kolme, haluttu kynnyсарvo valaistuksen kytkemiselle, maaperän minimikosteusarvo sekä lämpötilan maksimiarvo. Kuvassa 18 esitellään kasvihuoneiden tavoitearvojen asettamiseen rakennettu Dashboard-näkymä

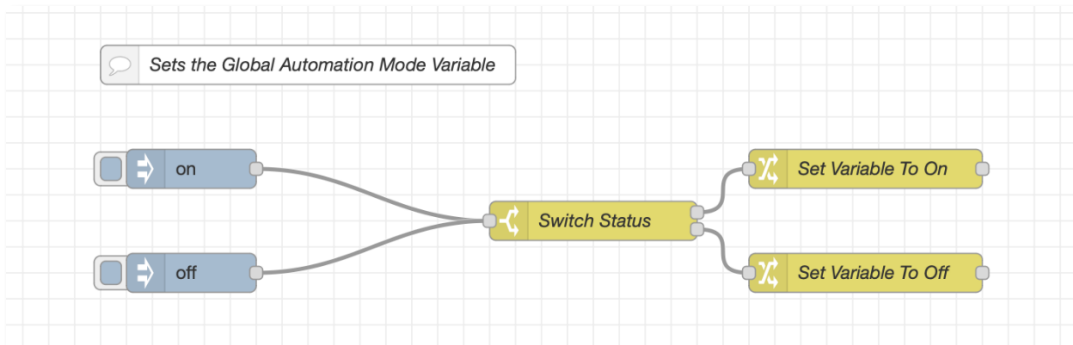
Kuva 18. Tavoitearvojen asettaminen.



## 9.2 Automaation käyttöönotto

Automaatio kytkettiin päälle joko kasvihuoneen välittömässä läheisyydessä sijaitsevan LCD-näytön ylös-painikkeesta tai Node-REDin System Control-välilehdeltä. Tämän jälkeen järjestelmä vertasi mitattuja arvoja asetettuihin ja toimi ohjelman mukaisesti. Kuvassa 19 esitellään automaation tilan asetus Node-REDissä.

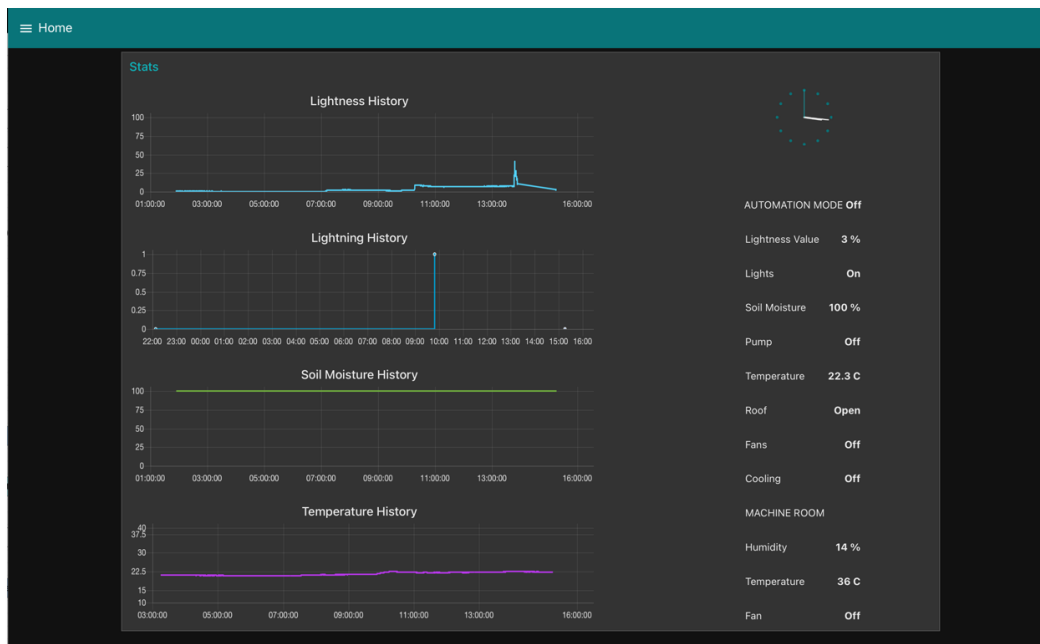
Kuva 19. Automaation tilan asetus Node-REDistä käsin.



## 9.3 Kasvihuoneen valvonta ja monitorointi

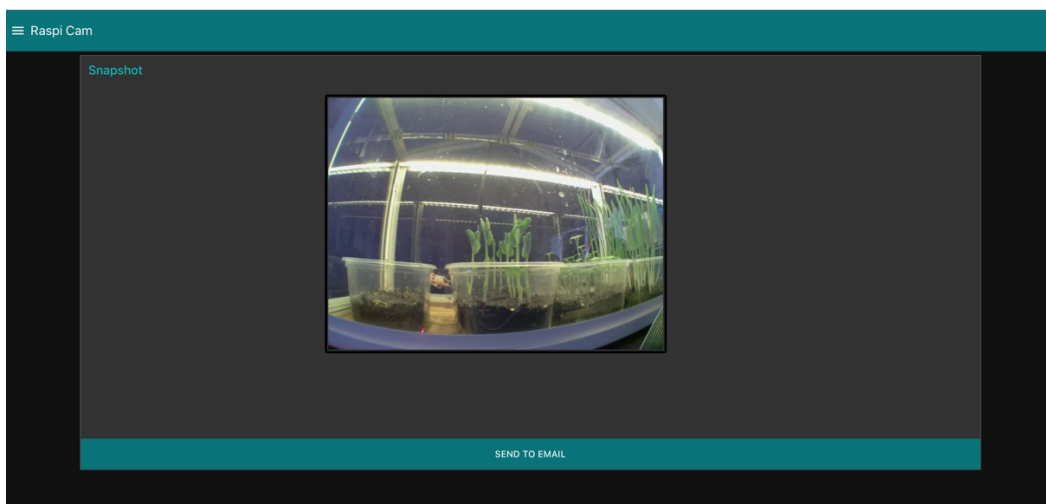
Kasvihuoneen tilaa tarkkailtiin Dashboardin Home-ikkunassa. Sieltä voitiin lukea lähes reaaliaikaiset arvot ja seurata, mitä kasvihuoneen aktiiviset komponentit tekivät kyseisellä hetkellä, esimerkiksi kattoluukun reaaliaikainen asento näkyi ikkunasta. Kuva 20 esittää kasvihuoneen olosuhteiden valvontaikkunaa.

Kuva 20. Kasvihuoneen valvontaikkuna.



Lisäksi Dashboardin RaspiCam-välilehdeltä voitiin tarkistaa kasvihuoneen reaaliaikaisen tilanteen kameran välityksellä, ja tarvittaessa lähettää kuva sähköpostiin. Kuvassa 21 RaspiCam-välilehden näkymä Dashboardissa.

Kuva 21. Raspi Cam-välilehti.



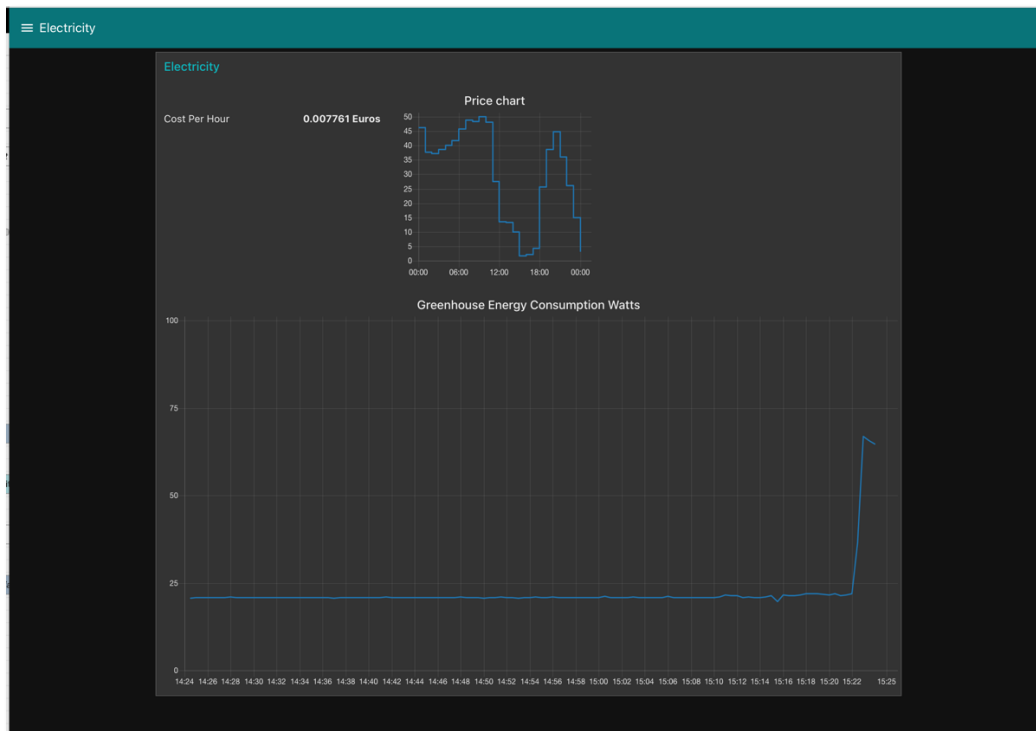
Dashboardin Electricity-välilehdeltä voitiin tarkistaa kasvihuoneen reaaliaikaisen energiankulutuksen, seuraavan 24 tunnin sähkön pörssihinnan, sekä reaaliaikaisen



kustannusarvion pörssisähkön hinta mukaan lukien verot sekä sähkön siirtokustannukset.

Kuva 22 esittää sähkön kulutusta monitoroivan Dashboard-ikkunan toimintaa.

Kuva 22. Sähkön kulutusta seuraava välilehti.



## 10 Kasvihuoneen ohjausjärjestelmän skaalattavuus

Toimivan kasvihuoneautomaation toteuttaminen tässä mittakaavassa oli luonnollisesti pilottihanke, jolle on vaikea löytää mitään järkeviä taloudellisia perusteita. Mutta koska ohjausjärjestelmä oli toimiva, sen rakentaminen suurempaan kokoluokkaan tuntuu mielekkäältä, jos ei taloudellisesti, niin ainakin tuottamaan toimivan, hieman suuremman luokan kokonaisuuden kuin rakennettu prototyyppi. Harrastustoimintana sekä ohjelmointiharjoituksena projekti on toiminut mainiosti. Tavoitteena oli laitteiston skaalattavuus esimerkiksi muutaman neliön tomaatinkasvatukseen soveltuvaan kokonaisuuteen, miksei hieman suurempaan. Tämä onnistuu suhteellisen helposti pienin muutoksin.

## 10.1 Kattoluukku

Kattoluukun oikea toiminta on yksi tärkeimmistä kasvihuoneen toiminnoista. Kattoluukkuja säätävä servomoottori on helposti päivitettävissä suurempaan. Esimerkiksi GWS Heavy Duty S666-servomoottorilla päästään jälleenmyyjän mukaan 15 kilogramman nostovoimaan sentin mittaisella varrella. (Robomaa, 2023). Moottorin valmistajan taulukon mukaan 6:n voltin käyttöjännitteellä sama servo pystyy nostamaan 22 kilogramman massan saman pituisella varrella. (GWS, 2023)

## 10.2 Valaistus

Valaistuksen ohjaukseen käytetty rele kestää jälleenmyyjän mukaan kymmenen ampeerin kuorman joko 230 voltin vaihtojännitteellä, tai 30 voltin tasajännitteellä. (Radioduo, 2023) Jos valaistuskorma kasvaa merkittävästi, olisi järkevintä kuljettaa releen kautta ainoastaan ohjausjännite, jolla ohjataan kuorman kytkemiseen käytettävää kontaktoria.

## 10.3 Kastelujärjestelmä

Sama tilanne pätee uppopumppuun. Pumppu on helppo korvata merkittävästi suuremmalla, jos 4-kanavainen rele ohjaa kontaktoria, joko yksivaiheista, tai kolmivaiheista, jolla varsinaista kuormaa ohjataan. On tosin vaikea kuvitella tilannetta, jolloin kotikäyttöön tarkoitettu järjestelmä vaatisi kolmivaiheuppopumpua.

Ohjausjännite voi olla 24 voltin tasajännite tai 230 voltin vaihtojännite. Tällaisia kontakteja löytyy lukuisilta valmistajilta, ja ovat hyllytavaraa tavallisimpien sähkötukkureiden valikoimissa.

Maaperän kosteutta mittaavaa anturia ei sinällään tarvitsisi korvata. Jos kuitenkin olisi tarve rakentaa kasvihuoneeseen erilaisia kastelutilanteita, voisi niiden määrää lisätä ja optimoida jokaiselle kastelualueelle omat kasteluolosuhteet. Tämä tuskin on tähän kokoluokkaan tarpeellinen toimenpide, toki maaperää voidaan mitata useammalla anturilla ja laukaista kastelu esimerkiksi kuivimman anturilukeman tai keskiarvon perusteella. Koska tämän

kokoluokan järjestelmä soveltuu parhaiten vain yhden kasvityypin samanaikaiseen kasvatukseen, se tuskin on tarpeellista.

#### 10.4 Lämmitys ja jäähdytys

Ulkotiloihin sijoitettava kasvihuone ei tarvitse Suomen oloissa lämmitystä, jos kasvatus tapahtuu kasvien luontaisten kasvatuskausien puitteissa. Toki lasinen tai muovilla katettu kasvihuone pidentää kasvukautta sekä sen aloituksen, että lopetuksen suhteen, mutta tällaisella järjestelmällä ei ole tarkoituksen mukaista kasvattaa esimerkiksi tomaatteja ydintalvella ulkotiloissa.

Haasteeksi muodostuu jäähdytys, suoran auringonpaisteen alla kasvihuoneen lämpötila voi nousta merkittävästi yli optimaalisten olosuhteiden. Useimmille syötävälle kasveille sopiva korkein suositeltava lämpötila on 26 C°. (Ihmeputarha, 2023)

Lämpötilan mittausta voisi hajauttaa, mutta käytettävä anturityyppi sopii hyvin käyttötarkoitukseensa sellaisenaan.

Lämmitys sekä jäähdytys voidaan edelleenkin toteuttaa peltier-elementeillä, mutta se tuskin olisi kovin kustannustehokasta johtuen elementin huonosta hyötysuhteesta. Peltier-elementin hyötysuhdetta on tosin vaikea määritellä tarkasti. Jäähdytykseen käytettävää elementtiä on myös jäähdytettävä aktiivisesti elementin kuumenevalta puolelta, joka tarvitsee myös energiaa.

Jäähdytystä on vaikea toteuttaa pienessä muutaman neliön mittakaavan kasvihuoneessa vailla merkittäviä laitteistokustannuksia. Koska Suomessa ulkoilman lämpötila nousee hyvin harvoin yli esimerkiksi tomaatin kestäväseen 27 C°:en lämpöä, lienee viisainta toteuttaa viilennys tulevaisuudessa vain tuuletuksen tehokkuutta nostamalla. Toinen vaihtoehto voisi olla kastelujärjestelmän samanaikainen sumutus, jollaisia toteutuksia näkee suurissa kaupalliseen kasvatukseen tarkoitetuissa järjestelmissä. Tämä tosin vaatisi kastelujärjestelmän konvertoinnin sprinkerimäisestä systeemistä enemmän sumuttavaan toteutukseen. Lopputoteutus selvinnee parhaiten kokeilemalla.

Luonnollisesti tuulettimien koko on päivitettävä kasvihuoneen kokoa vastaavaksi. Kasvihuoneen koosta riippuen tuulettimen tai tuulettimien koko on syytä pohtia tarkasti, mutta pohjapinta-alaltaan muutaman neliömetrin kasvihuoneen ilmanvaihto onnistuu helposti käyttämällä 12–24 voltin tuulettimia, joiden tarvitsema käyttöjännite voidaan kuljettaa 4-kanavaisen relekortin läpi tai lisätä järjestelmään kontaktori, jota relekortin lähdöt ohjaavat.

## 11 Pohdinta

Useimmiten esineiden Internetistä puhuttaessa keskitytään esimerkiksi energiansäästöön, laitteistojen etäohjausmahdollisuuteen tai vaikkapa sähköauton lataamiseen silloin kun se on edullisinta.

Esineiden Internet on mahdollistanut asioita, joita vielä muutama vuosi sitten oli mahdotonta tai vähintäänkin vaikeaa toteuttaa erityisesti kuluttajatasolla, kuten esimerkiksi tämän opinnäytetyön lopputulos. Usein kuitenkin unohtuu se seikka, että tekniikan kehittyessä laitteet vanhenevat nopeasti eikä niitä voi useimmiten korjata. Esimerkiksi käyköön vaikkapa valo-ohjaukseen tarkoitetut komponentit. On vaikea uskoa, että etäohjattavan ja langattoman laitteen vioittuessa kymmenen vuoden päästä voisi vain asentaa uuden laitteen rikkoutuneen tilalle ilman järjestelmän parempaa tuntemusta. Ehkäpä laitteen asentaja ei ole enää tavoitettavissa, järjestelmän salasana on hävinnyt tai sitä ei tueta enää, ehkä koko tekniikka on jo vanhentunutta. Tällöin otetaan merkittävästi takapakkia verrattuna perinteiseen valokytkimeen. Kuka tahansa sähköasentaja osaa korvata vanhan ja vioittuneen perinteisen kytkimen tai pistorasian uudella ja järjestelmä toimii taas samalla tavalla kuin se on suunniteltu alun perinkin toimimaan. Huonoimmassa tapauksessa vioittunut etäohjattava laite korvataan uudella, kun kerran suoraan samaa komponenttia ei voi asentaa perehtymättä järjestelmän toimintaan syvällisemmin.

Vaikka energian säästö, etäohjaus ja optimointi on tietenkin tänä päivänä erityisen tärkeää, on syytä muistaa myös IoT-laitteiden tarvitsema sähkö. Perinteinen valokytkin ei kuluta sähköä lainkaan. Verrattuna esimerkiksi kirjoittajan valonohjausjärjestelmään, joka tarvitsee paristoilla toimivat kytkimet, keskusyksikön ja mielellään pääsyn Internetiin ja

datakeskuksiin, on perinteinen valokytkin sekä luonnonvaroja, että energiaa säästävä. Samoin laitteiden lyhyt käyttöikä, ainakin esimerkkitapauksessa verrattuna vaikkapa mekaaniseen kytkimeen, jonka käyttöikä on optimitilanteessa 50 vuotta, johtaa väistämättä elektroniikkaromun lisääntyneeseen määrään. Toivottavasti kuitenkin tekninen kehitys korvaa toteutuneena energian- ja työajan säästönä sen aiheuttamat haittapuolet. (spak7, 27)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli rakentaa kasvihuoneautomaatiojärjestelmän prototyyppi käyttäen edullisia, kaikille helposti saatavilla olevia komponentteja. Tämä tarkoitus myös saavutettiin muutamien poikkeuksin. Järjestelmän rakentamisen sivutuotteena oli myös tarkoitus opiskella Node-RED-ohjelmointia. Tämä tavoite täyttyikin erinomaisesti.

Node-RED on erittäin kiehtova ohjelmointiympäristö, jolla on mahdollista toteuttaa monimutkaisiakin laitteistoja niin, ettei välttämättä tarvitse syventyä graafista käyttöliittymää syvemmälle laisinkaan. Toteutuksen edetessä tuli kuitenkin ilmi, että monimutkaisempia toteutuksia varten on helpompaa kirjoittaa erinäisiä funktioita, joiden toteuttaminen käyttäen graafisen käyttöliittymän nodejen tarjoamia ominaisuuksia olisi turhan kömpelöä. Projekti oli hyvin opettavainen ja mielenkiintoinen matka IoT-laitteiden maailmaan. Projektia viimeistellessä törmättiin myös mahdollisuuden laatia esimerkiksi funktioita tekoälyä käyttäen. Tätä ei projektin puitteissa päästy kokeilemaan käytännössä, mutta idea kuulostaa toimivalta.

Vaikka kasvihuoneprojektille on vaikea kuvitella minkään tyyppistä kaupallisesti järkevää sovellusta, toimi se mitä oivallisempaan harjoituksena. Projekti on myös aikaansaanut useita uusia käyttötarkoituksia siihen käytettyjen laitteiden ja ideoiden suhteen. Todennäköisesti kyseinen laitteisto skaalataan kirjoittajan kotona tapahtuvaan kasvatuskäyttöön pienillä muutoksilla.

Rakennustyön edistyessä tehtiin muutamia havaintoja, jotka vaikuttavat tulevaisuuden rakennusprojektien toteuttamiseen. Monet komponentit, erityisesti hinnaltaan edullisimmat ovat käyttökelpoisia toimivan prototyypin rakentamiseen, mutta tositoimissa niiden laatu on yksinkertaisesti liian heikko kestämään päivittäistä käyttöä. Mekaaninen toteutus, vesi-,

pöly-, ja kosketussuojaus ja liittimien ja johtimien suojaus on monesti varsin keskinkertaista. Hyvänä esimerkkinä pumpput, joita käytettiin kasvihuoneen kastelujärjestelmän toteuttamiseen, parin viikon käytön aikana hankittu pumppu ja sen varakappale yksinkertaisesti lopettivat toimintansa, ja edullisten pumppujen tilalle oli hankittava hieman laadukkaammat versiot. Ne palvelivat projektin loppuun asti moitteetta.

Järjestelmän ulkonäkö ei kestä lähempää tarkastelua, ei myöskään mekaaninen toteutus. Jotta laitteiston voisi ottaa jatkuvaan käyttöön, olisi ehdottoman tärkeää parantaa mekaanista kestävyyttä, suojata johtimet ja muut komponentit paremmin, sekä käyttää luotettavia ja mielellään kosteudelta suojattuja liittimiä. Lisäksi Raspberry Pi:lle, T-Couplerille sekä Arduinolle olisi rakennettava laitekotelo, joka suojaisi laitteistoa vedeltä ja mekaaniselta rasitukselta, mutta mahdollistaisi jäähdytyksen toteutuksen. Ulkotiloissa laitteiston lämpötila voi nousta auringonpaisteessa huomattavasti. Parannuksena tähän tilanteeseen suuremman laitteiston rakentamisen yhteydessä kaikki tulot ja lähdöt kytketään Arduinon, jolloin Raspberry Pi voidaan sijoittaa erilleen varsinaisesta kasvihuoneesta. Näin voidaan suojaus toteuttaa helpommin, sillä Arduino ei tarvitse aktiivista jäähdytystä.

Lisäksi esimerkiksi kosteuden mittaamiseen käytetty FC-28-anturi on käyttäiltään kokemuksen perusteella varsin lyhytikäinen, eikä sovellu vuosikausia jatkuvaan mittaustiedon keräämiseen korroosion takia.

Lopputuloksena syntynyt laitteisto on kuitenkin täysin toimiva ja osoittautunut toimintavarmaksi, kunhan laitteiston jännitelähteet optimoitiin sekä ohjelmisto saatiin viimeistelyä. Sen kehittäminen jatkuu tämänkin opinnäytteen jälkeen. Se on etähallittava, sekä toimii paikallisella ohjauksella, kuten johdannossa toivottiin. Käyttöliittymä on tarpeeksi yksinkertainen loppukäyttäjille ja siitä on helppo tulkita, mitä kasvihuoneessa tapahtuu, tai on tapahtunut.

Projektin tavoitteisiin ei kuulunut kaikille käyttäjille helposti avautuva ja toimiva laitteisto, ja sen käyttäminen vaatiikin hieman perehtyneisyyttä laitteiston sielunelämään. Kätevintä olisikin, jos järjestelmä pystytettäisiin kasvatuksen alussa sen rakentajan toimesta ja sen jälkeen toiminnasta vastaa kasvattaja itse. Tämän jälkeen pienellä perehdyttämällä se on

käyttökelpoinen ja tekee sen, mihin alkuperäisellä tehtävänasettelulla pyrittiinkin. Joitain toimintoja on tietoisesti jätetty loppukäyttäjän saavuttamattomiin, kuten esimerkiksi Timelapse-kuvaus ja konehuoneen säädöt. Niin kauan, kun käyttäjä ja rakentaja asuvat samassa taloudessa, ei niille ole tarpeen rakentaa erillistä käyttöliittymää Dashboardiin. Lopputuloksena syntynyt järjestelmä toimii suunnitellusti ja on osoittautunut hyvin luotettavaksi ja käyttökelpoiseksi.

## Lähteet

Ashton, K. (2014). *That 'Internet of Things'*.

<https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>

Components101. (2023). *ht11-temperature-sensor*.

<https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor>

Dataseet Hub. (2023). *FC-28 Soil Moisture Sensor Module*.

<https://datasheethub.com/fc-28-soil-moisture-sensor-module/>

Free Dictionary. (2023). *The Free Dictionary By Farlex*.

<https://www.thefreedictionary.com/code+red>

GWS. (2023). *Heavy-Duty Series*.

<https://www.gws.com.tw/english/product/servo/heavy%20duty.htm>

Gite, V. (2023). *How to find out Raspberry Pi GPU and ARM CPU temperature on Linux*.

CyberCiti: <https://www.cyberciti.biz/faq/linux-find-out-raspberry-pi-gpu-and-arm-cpu-temperature-command/>

Hutasu.net. (2023). *Servomoottorin ohjaus*.

<https://www.hutasu.net/mikrokontrollerit/arduino/9-servomoottorin-ohjaus/>

Ihmepuutarha. (2023) *Kasvihuoneesta iloa ympäri vuoden*.

<https://ihmepuutarha.fi/?p=97>

Itumic. (2023) *Etähallittava kasvihuonesäädin on muokattavissa kaikkiin tarpeisiin*.

<https://itumic.fi/kasvihuonetekniikka/kasvihuonesaadin/>

Kaspersky. (2023) *Miksi kotiverkon lot-tietoturva on tärkeä asia*.

<https://www.kaspersky.fi/resource-center/threats/secure-iot-devices-on-your-home-network>

Jolles, J. (2023). *Improve Raspberry Pi security. The Raspberry Pi Guide*.

<https://raspberrypi-guide.github.io>

Martat. (2023). *Tomaatin kasvatus*.

<https://www.martat.fi/marttakoulu/puutarha/hyotykasvit/tomaatin-kasvatus/>

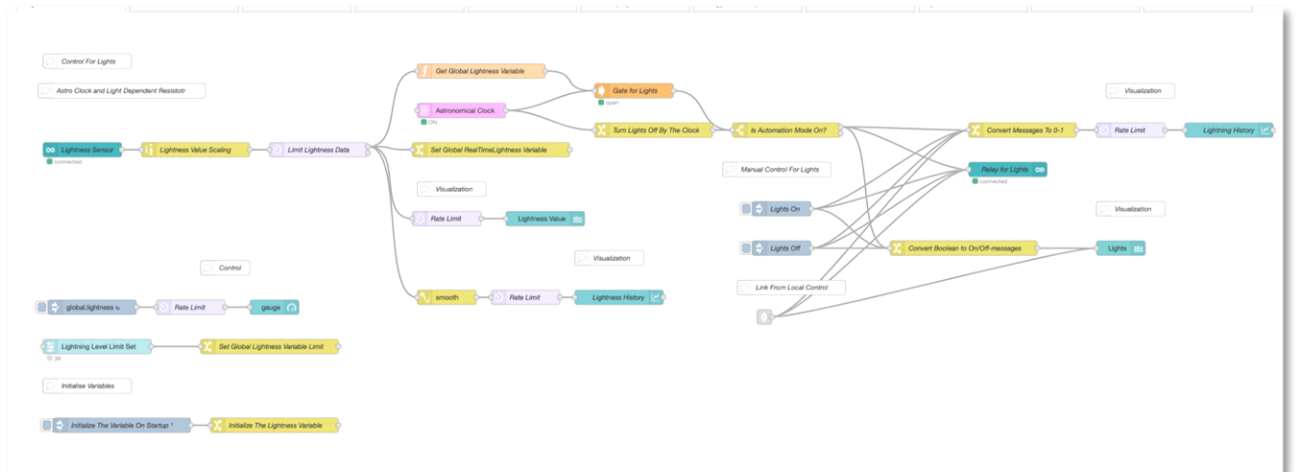
Partco. (2023). *Partco The Electronics Shop*.

[https://www.partco.fi/module/clerk/search?controller=search&orderby=position&orderway=desc&search\\_query=arduino+uno+rev+3&submit\\_search=&fc=module&module=clerk](https://www.partco.fi/module/clerk/search?controller=search&orderby=position&orderway=desc&search_query=arduino+uno+rev+3&submit_search=&fc=module&module=clerk)

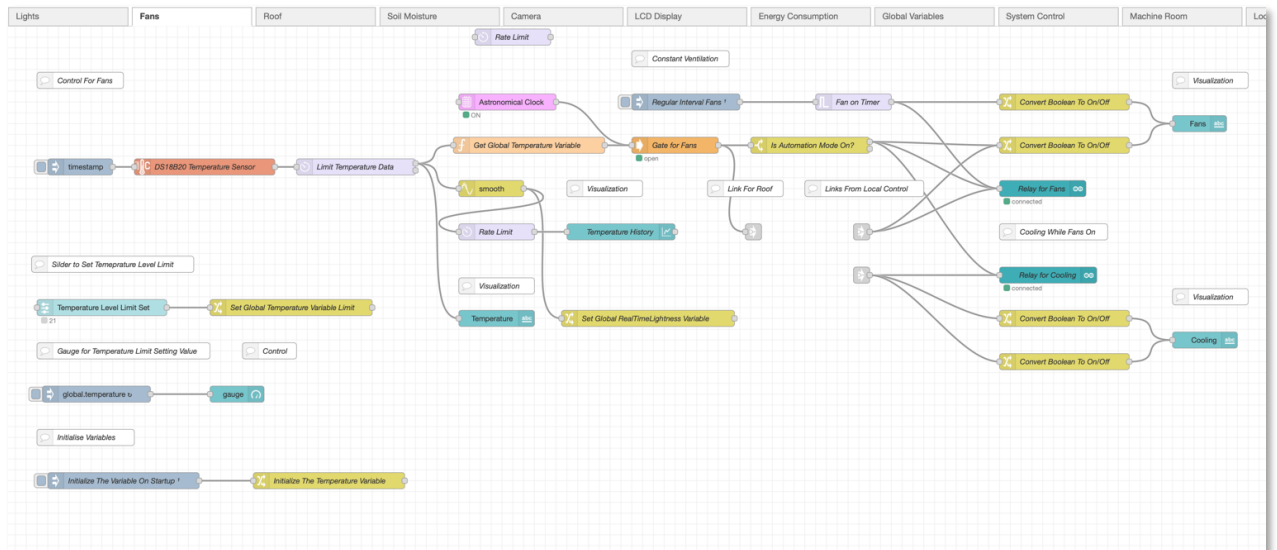


- PiMyLifeUp. (2023). *Running ZeroTier on the Raspberry Pi*.  
<https://pimylifeup.com/raspberry-pi-zero-tier/>
- Radioduo. (2023). *RELEMODUULI - CH: 4 - 5VDC - MAX.250VAC - 10A - UKYTK: MAX.30VDC*.  
[https://www.radioduo.fi/relemoduuli-ch-4-5vdc-max-250vac-10a-ukytk-max-30vdc/p/OKY3013-2/?gclid=EAAlQobChMIjO2qha-B\\_glVIQjmCh3jOwD8EAQYAiABEgKP1\\_D\\_BwE#description](https://www.radioduo.fi/relemoduuli-ch-4-5vdc-max-250vac-10a-ukytk-max-30vdc/p/OKY3013-2/?gclid=EAAlQobChMIjO2qha-B_glVIQjmCh3jOwD8EAQYAiABEgKP1_D_BwE#description)
- Raivio, L. & Heinonen, T. (2023). *Tomaatin kasvatus*.  
<https://www.meillakotona.fi/artikkelit/tomaatin-kasvatus>
- Raspberry Pi Foundation. (2023). *Raspberry Pi 4 Tech Specs*.  
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>
- Robomaa. (2023). *GWS HEAVY DUTY S666 STD SERVO MOTOR*.  
<http://robomaa.fi/gws-heavy-duty-s666-std-servo-motor>
- Shelly. (2023). *Shelly Plug S - 2300W energiaa mittaava WiFi-älypistorasia*.  
<https://shellykauppa.fi/products/Shelly-Plug-S-2300W-energiaa-mittaava-WiFi-alypistorasia-p507645431>
- spak7. (2018). *How the Internet of Things Affects the Environment*.  
<https://mse238blog.stanford.edu/2018/07/spak7/how-the-internet-of-things-affects-the-environment/>
- SSH academy. (2023). *What is SSH (Secure Shell)?*  
<https://www.ssh.com/academy/ssh>
- Techatronic. (2023). *DHT11 Temperature And Humidity Sensor*.  
<https://techatronic.com/what-is-dht11-sensor-dht11-sensor-working-dht11-full-detail/>
- Turkia, E. (2023). *Aurinkopaneelikäyttöisen lämpösähköisen kylmälaitteen tuotekehitys*.  
[https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/162277/Kandidaatintyo\\_turkia\\_esa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/162277/Kandidaatintyo_turkia_esa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vireaho, J. (2023). *Kasvit valokeilassa – millainen kasvivalo viherkasveille?*  
<https://www.kekkila.fi/artikkeli/kasvit-valokeilassa-millainen-kasvivalo-viherkasveille/>
- ZeroTier. (2023). *Securely Connect Any Device, Anywhere*.  
<https://www.zerotier.com>
- Åberg Secher, M. (1998). *Kasvihuone*. Otava.

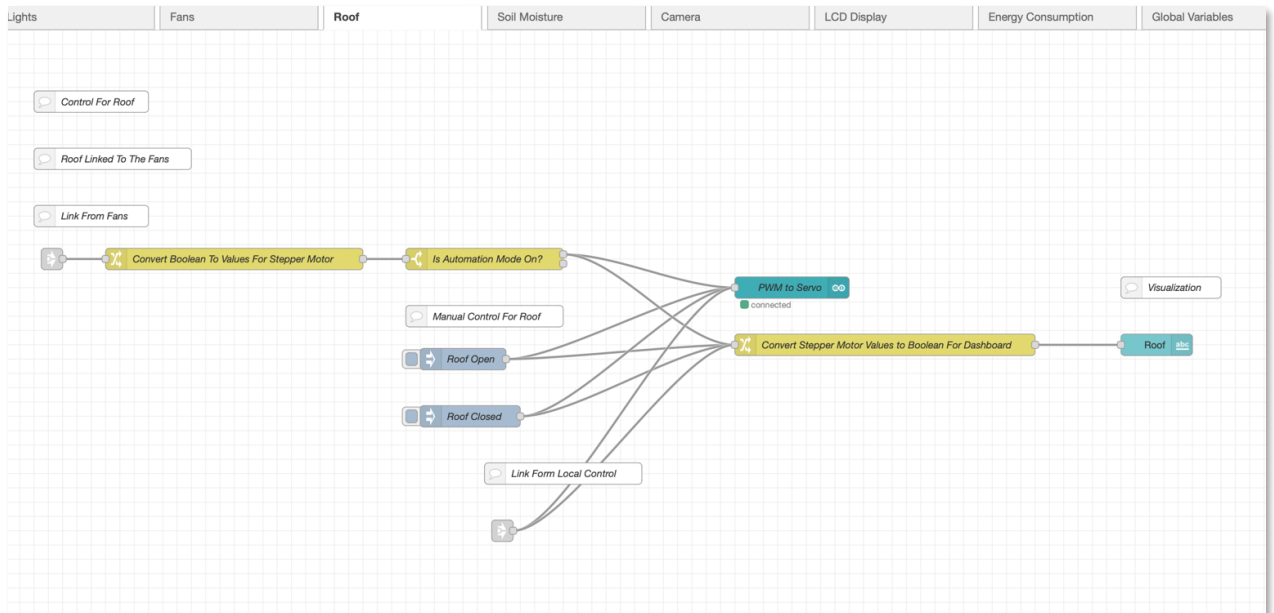
Liite 1. Lights-välilehti



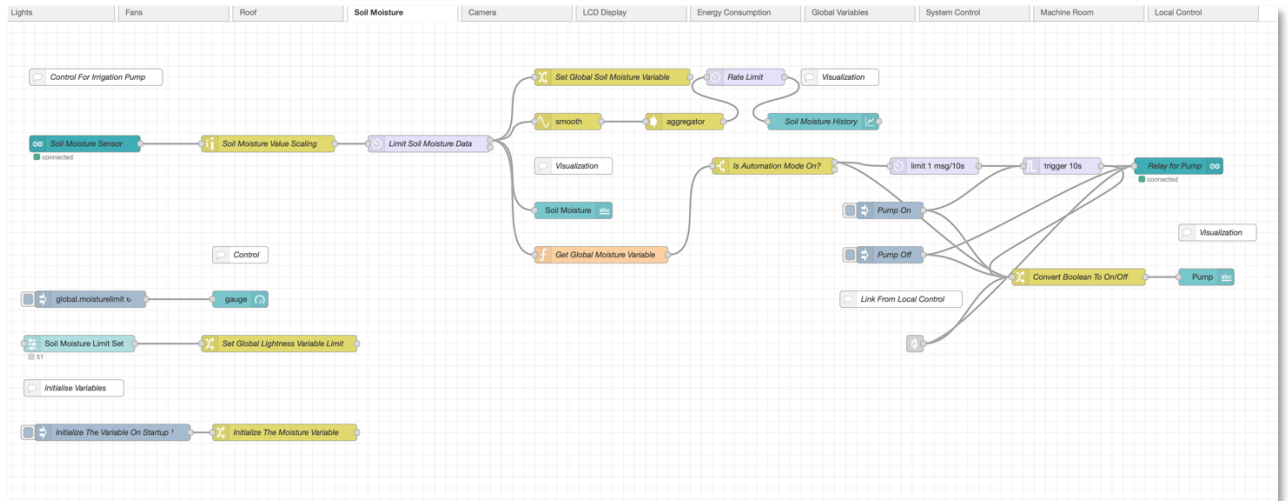
## Liite 2. Fans-välilehti



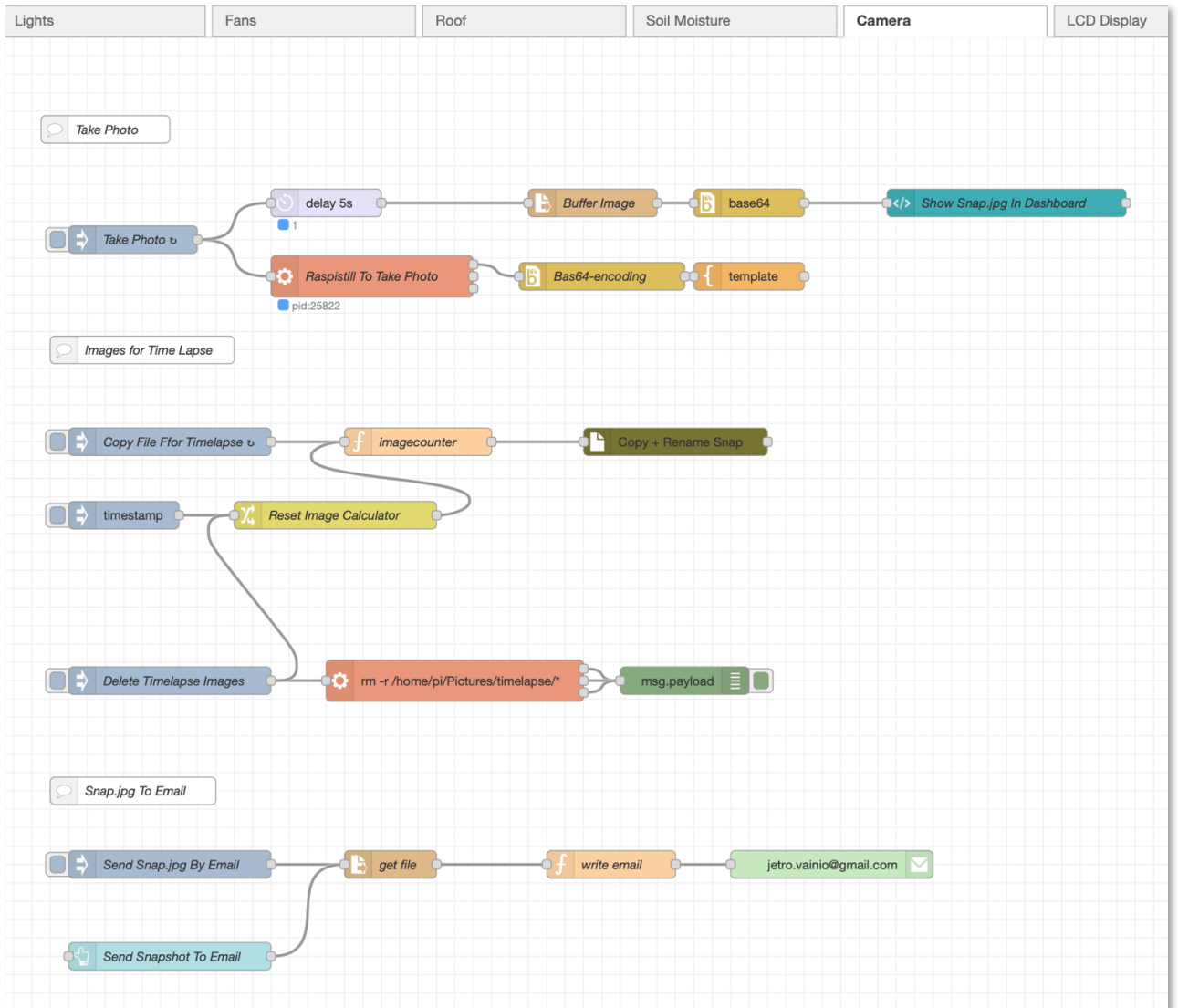
### Liite 3. Roof-välilehti



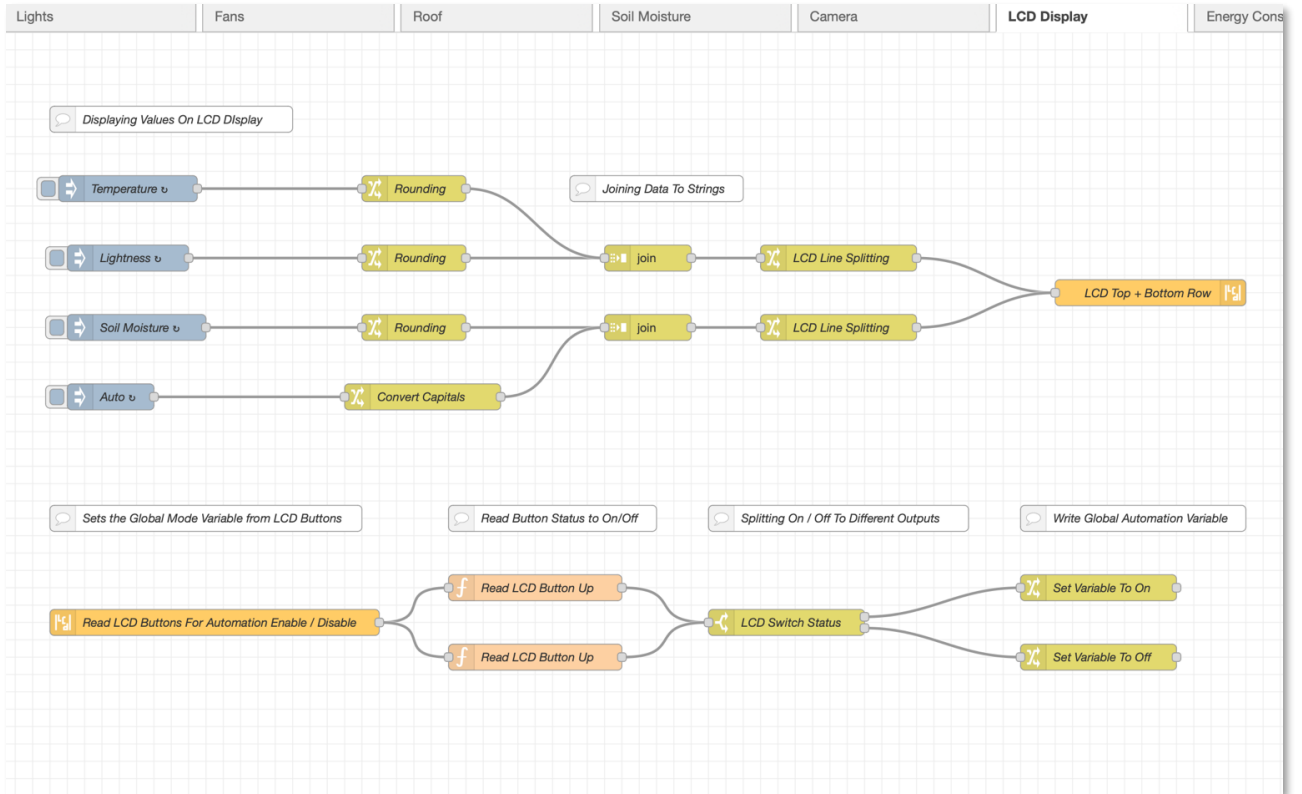
### Liite 4. Soil Moisture-välilehti



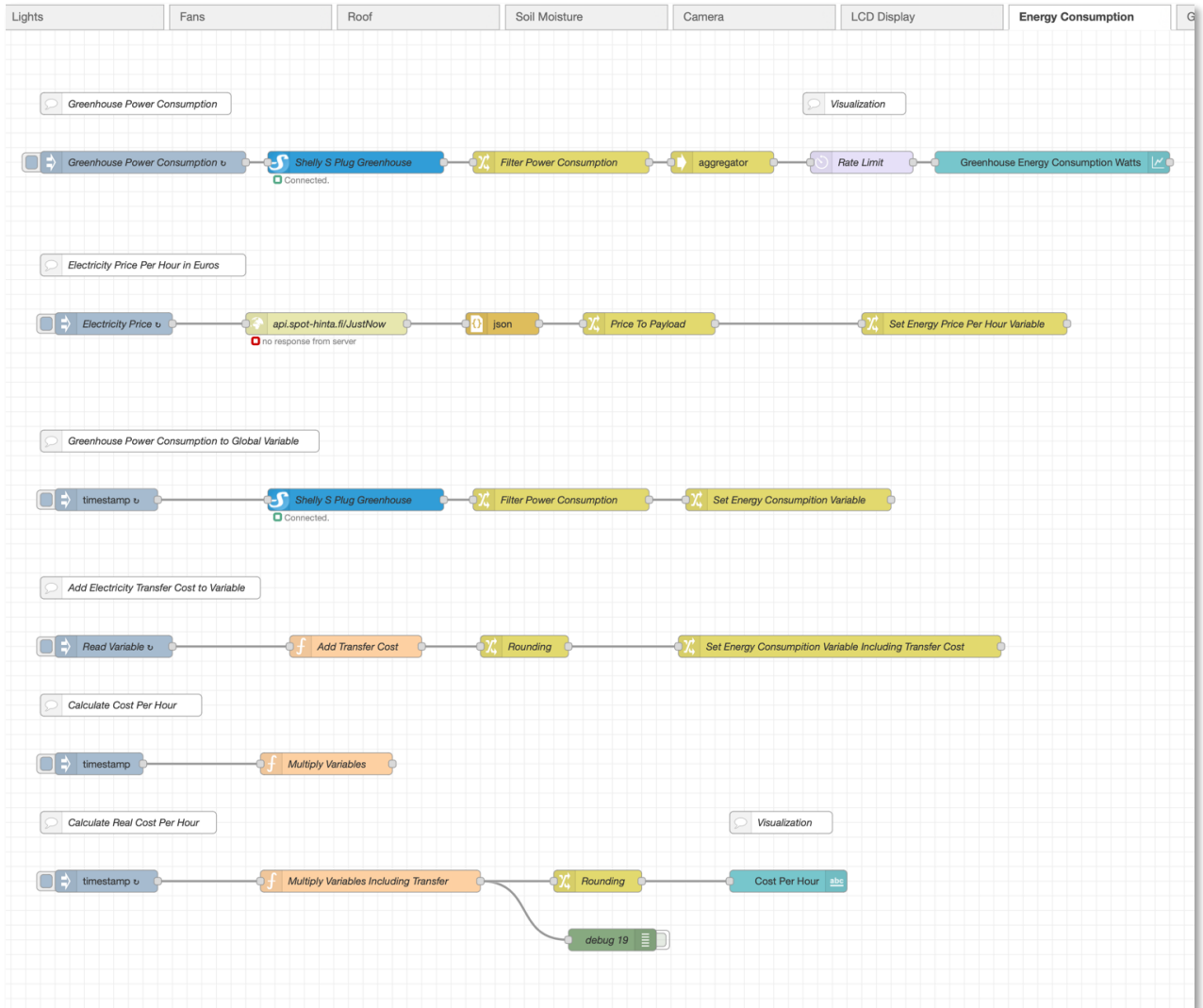
## Liite 5. Camera-välilehti



## Liite 6. LCD-välilehti

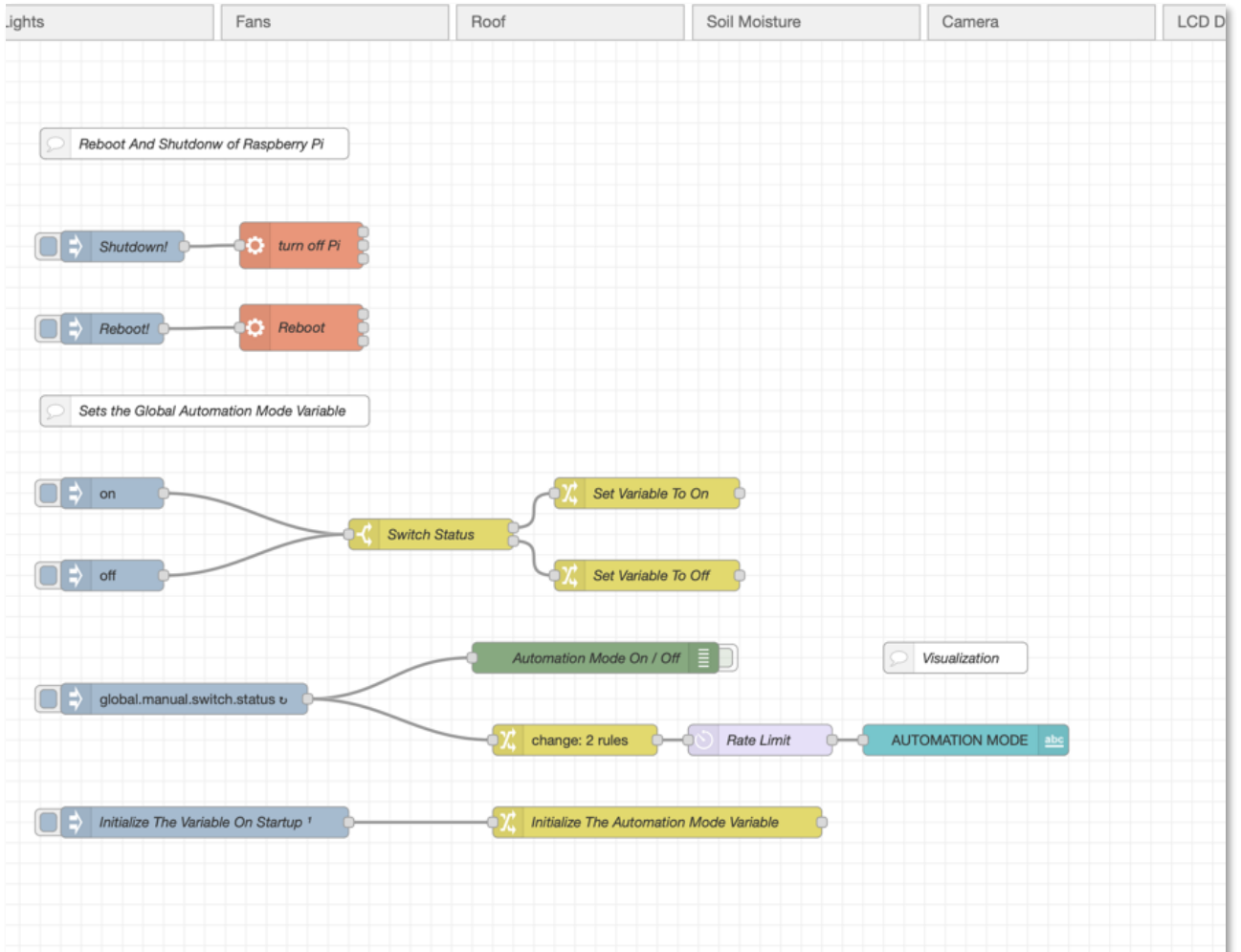


## Liite 7. Energy Consumption-välilehti

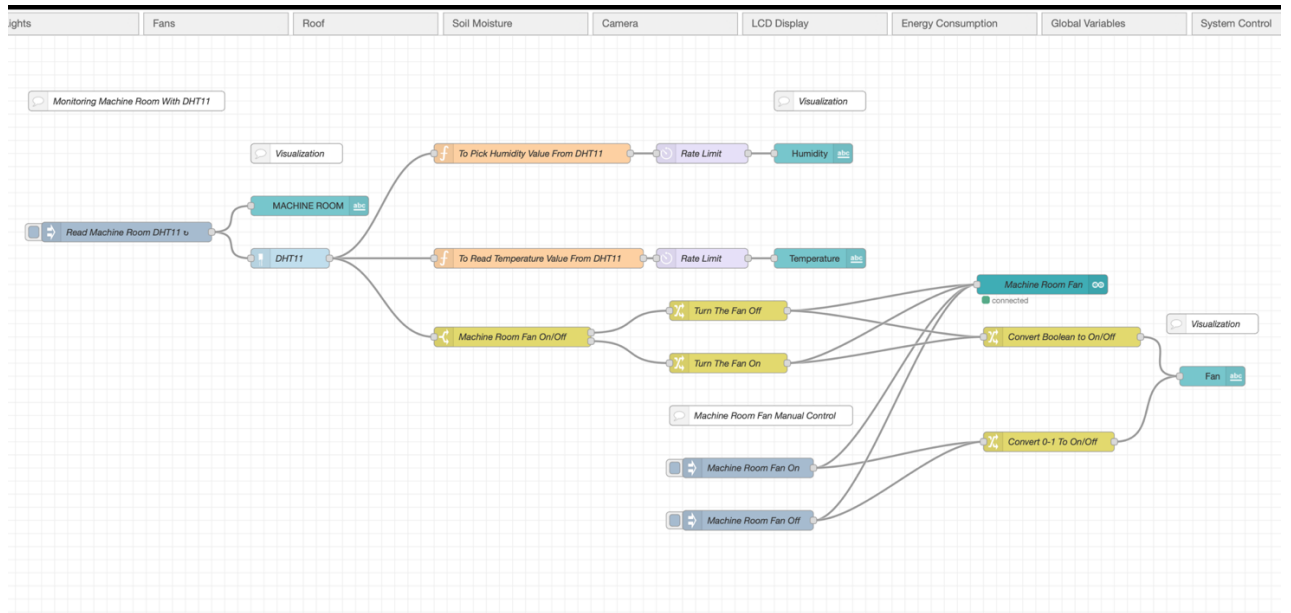




### Liite 8. System Control-välilehti



### Liite 9. Machine Room-välilehti



Liite 10. Local Control-välilehti

