



Lari Puisto

Heinäautomaatin suunnittelu ja tekeminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

30.04.2021

Tekijä	Lari Puisto
Otsikko	Heinäautomaatin suunnittelu ja tekeminen
Sivumäärä	24 sivua
Aika	30.04.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Kristian Junno Valvoja Essi Hiidensalo

Hevostalous on hyvin vanhanaikainen ala, jossa suurin osa töistä tehdään yhä käsin. Automatisointia on käytetty hevosalalla varsin vähän, mutta lisääntyneen kysynnän myötä uusia automatisointiratkaisuja kehittyy jatkuvasti hevostalouteen. Heinäautomaatti ei kuitenkaan ole mikään uusi keksintö, sillä Suomesta ja Ruotsista löytyy yrityksiä, jotka toimivat niin kotimaisella kuin globaaleillakin markkinoilla. Näiden yritysten hinnoittelutaso on kuitenkin korkea, eivätkä yritykset hyödynnä automaation potentiaalia riittävästi.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa lähiverkossa toimiva kustannustehokas heinäautomaatti, jonka hankintahinta olisi jo markkinoilla olevia laitteistoja edullisempi. Tavoitteena oli myös luoda automaatin toimintoja ohjaavasta logiikasta helppokäyttöinen, johon lisäominaisuuksien rakentaminen olisi nopeaa ja yksinkertaista.

Kaikki projektin ohjelmistot ja ohjaimet saatiin projektin aikana valmiiksi ja niiden toiminnot saatiin testattua. Myös heinäautomaattien valmistuksen kustannustehokkuus saatiin varmistettua, jonka seurauksesta tulevaisuudessa heinäautomaatteja tullaan valmistamaan tilaajalle kahdeksan kappaletta lisää.

Tavoitteisiin päästiin myös käyttäjäystävällisen ohjauspaneelin rakentamisessa. Sitä tullaan kuitenkin tulevaisuudessa jatkuvasti päivittämään ja mahdollisesti rakentamaan täysin uudelle alustalle.

Automaattien etäohjausyksikköön on rakennettu varauksia tulevaisuudessa lisättäviä toimintoja ajatellen niin, että uusien toimintojen ja anturien lisääminen järjestelmään onnistuu ilman uuden ohjaimen rakentamista. Projektissa käytetty mikrokontrolleri tullaan kuitenkin seuraavissa automaateissa vaihtamaan toiseen sen vähäisten analogiatulojen vuoksi, mikä rajoittaa datan keräämistä analogisilta antureilta.

Avainsanat	heinäautomaatti, hevostalous, etäohjausyksikkö
------------	--

Author	Lari Puisto
Title	Designing and Producing Automatic Hay Feeder
Number of Pages	24 pages
Date	30 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Automation engineering
Instructors	Kristian Junno, Senior Lecturer Essi Hiidensalo, Project Commissioner
<p>Equine industry is very old-fashioned field of business with a lot of manual labor. Very little automation has been used in the equine industry, but with increased demand, new automated solutions are being developed constantly. An automatic hay feeder is not a new invention, as there are companies in Finland and Sweden that operate in both domestic and global markets. However, the pricing level of their products is high, and they do not sufficiently exploit the potential of automation.</p> <p>The aim of this thesis work was to design and implement a cost-effective automatic hay feeder that operates in the local area network, and which would have a cheaper purchase price than the equipment that already exists on the market. The goal was also to make an easy- to-use control unit, which would have simple and quick integration for the upcoming additional features.</p> <p>All project software and controllers were completed during the project and their operation was tested. In addition, the cost-effectiveness of the production of the device was ensured, as a result of which eight more automatic hay feeders will be manufactured for the customer in the future.</p> <p>The goals were also achieved in the construction of a user-friendly control panel, which, however, will be constantly updated in the future and possibly built on a completely new platform.</p> <p>The remote-control unit of the automatic hay feeder has been built with options for the future additional functions, so that new functions and sensors can be added to the system without building a new controller. However, the microcontroller used in the project will be replaced by another in the future machines, due to its low number of analogue inputs, which limits data collection from the analogic sensors.</p>	
Keywords	automatic hay feeder, equine facility, remote-control unit

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Komponenttien valinta	2
2.1	Raspberry Pi 4	2
2.2	Kosketusnäyttö	2
2.3	Mikrokontrolleri	3
2.4	Relemoduuli	4
3	Ohjelmistot	5
3.1	Raspberry Pi OS with Desktop (Raspberryn käyttöjärjestelmä)	6
3.1.1	Käyttöjärjestelmän asennus	6
3.1.2	Käyttöjärjestelmän rooli projektissa	6
3.1.3	Langaton tukiasema	7
3.2	Mosquitto MQTT broker	9
3.3	Node-Red	9
3.4	Arduino IDE	10
4	Kommunikaatio	11
4.1	Kosketusnäytön yhdistäminen logiikkaan	11
4.2	Releiden ohjaus logiikalla	12
4.3	Kommunikaatioprotokolla	13
5	Sähköistys	14
6	Ohjainlaitteet	14
6.1	Etäohjausyksikkö	15
6.2	Ohjausyksikkö (logiikka)	16
7	Runko	17
7.1	Suunnittelu	18
7.2	Rungon rakenne	19
7.3	Konsultointi	19
7.4	Materiaalivaihtoehdot	19
7.5	Jauhemaalaus	20
7.6	Rungon mallinnus	21

8	Pohdinta	22
8.1	Yhteenveto	22
8.2	Laitteiston kehittäminen	23
	Lähteet	24

Käsitteet

TLS	Salausprotokolla.
TCP/IP-pino	Useiden tietoliikenneprotokollien yhdistelmä, jossa jokainen protokolla toimii eri kerroksessa.
VAC	Volttia vaihtovirtajännitettä.
VDC	Volttia tasavirtajännitettä.
Publisher	Client joka välittää viestejä tietyllä topicilla brokerille.
Subscriber	Client joka vastaanottaa tietyllä topicilla lähetettyjä viestejä brokerilta.
Client	MQTT-viestintään osallistuva laite.
Broker	MQTT -palvelin jonka kautta kaikki MQTT-viestit kulkevat.
topic	Viestin aihe kenttä, joka määrittää vastaanottajan MQTT-viestinnässä
DNS	Verkon nimipalvelujärjestelmä.
DHCP	Verkkoprotokolla joka jakaa uusille verkkoon kytketyille laitteille IP-osoitteet määrääjäksi.
wlan0	Langaton verkkosovitin.

1 Johdanto

Hevostalous on hyvin vanhanaikainen ala, jossa suurin osa töistä tehdään yhä käsin. Tämä johtaa muun muassa suuriin työvoimakustannuksiin. Automatisointia on käytetty hevosalalla varsin vähän. Joskin sen käyttöön on viime vuosina alettu heräämään yhä enemmän. Automatisoinnilla voidaan tehostaa työntekijän ajankäyttöä, eli vähentää töihin kohdistuvaa aikaa, mikä taas alentaa työvoimakustannuksia.

Yksi työläin ja aikaa vievin asia hevosten hoidossa on eläinten ruokinta. Hevoset ruokitetaan useita kertoja vuorokaudessa mahdollisimman tasaisin väliajoin. Pitkät välit ruokinnassa lisäävät hevosten ruoansulatusvaivoja ja esimerkiksi ähkyn ja vatsahaavaan riskiä. Tämä tarkoittaa sitä, että päivän ensimmäiset ruoat pyritään jakamaan aikaisin aamulla ja viimeiset myöhään illalla, joten jo pelkästään ruokintojen toteuttamiseen tarvitaan useampi työntekijä. Ajatus ruokinnan automatisoinnista, eli heinäautomaatista, syntyi huomattuani, kuinka paljon hevosten ruokinta-aikataulut rajoittavat hevosalalla yrittäjänä toimivan tyttöystäväni arkea. Hänen työpäivänsä alkavat aina kello 6 hevosten aamuruokinnalla. Seuraavat ruoat hän jakaa kello 8, 12, 16 ja 21. Varsinainen työpäivä on kello 8–16, mutta aamu- ja iltaruokintoja varten hänen täytyy kuitenkin olla paikalla kello 6–21. Jos automaatti jakaisi illan viimeiset ja päivän ensimmäiset heinät, tyttöystäväni työpäivän pituus vähenisi seitsemällä tunnilla.

Heinäautomaatti ei ole mikään täysin uusi keksintö. Niitä valmistetaan jo Suomessa, ja niiden vienti on laajentunut globaalisti ympäri maailman. Hinta on niissä kuitenkin huomattavan suuri. Tämän opinnäytetyön tavoitteena onkin suunnitella ja toteuttaa lähiverkon välityksellä ohjattava kustannustehokas heinäautomaatti ja sen ohjainlaitteet, joiden hankintahinta olisi jo markkinoilla olevia laitteistoja edullisempi. Jos tavoitteisiin päästään, tarkoituksena on valmistaa heinäautomaatteja yhteensä yhdeksän kappaletta. Ohjelmistot on toteutettu opinnäytetyössä niin, että seuraavan automaatin valmistuessa sen voi yhdistää laitteistoon ilman suurempia ohjelmistomuutoksia.

2 Komponenttien valinta

Komponenttien valinnassa ehkä tärkeimmäksi asiaksi osoittautui ohjausyksiköiden hyvä suunnittelu ennen komponenttien tilaamista. Projektista kertyneen tiedon avulla seuraavaksi rakennettavan automaattiin etäohjausyksikkö tuleekin sisältämään muutamia eri komponentteja kuin alaluvun 6.1 etäohjausyksikkö.

2.1 Raspberry Pi 4

Projektissa käytettäväksi logiikaksi valikoitui Raspberry Pi 4 kustannustehokkuutensa ja helpon kosketusnäytön integroinnin vuoksi. Raspberry toimikin projektin avainkomponenttina, jonka perusteella muut komponentit valittiin. Ideana oli valita ensin projektissa käytettävä logiikka, joka rajaisi muiden mahdollisten komponenttien valinnan vain Raspberryn kanssa yhteen sopiviin komponentteihin ja kontrollereihin. Lisäksi Raspberryn valitseminen heti projektin alettua pakotti perehtymään tarkemmin olemassa olevien tietoliikenne- ja viestintäprotokollien ominaisuuksiin ja niiden integrointiin.

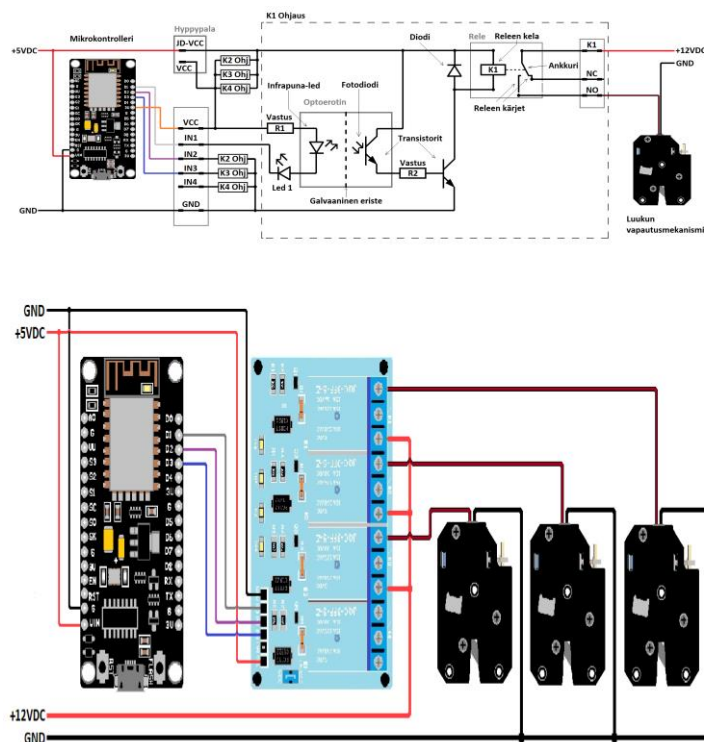
2.2 Kosketusnäyttö

Kosketusnäytön valinnassa tärkein valintaan vaikuttava kriteeri oli sen helppo integrointi Raspberryn. Kosketusnäytöksi valikoitui seitsemäntuumainen IPS-kosketusnäyttö, jonka resoluutiotarkkuus on 1024 x 600 ja virkistystaajuus on 60 herziä. Lisäksi valittu kosketusnäyttö on suunniteltu käytettäväksi Raspberry Pi:n kanssa, joka teki laitteiden integroinnista erittäin helppoa.

2.3 Mikrokontrolleri

Mikrokontrolleriksi valikoitui AZ-Deliveryn kolmannen sukupolven NodeMCU. Mikrokontrollerissa portteja on yhteensä 30 kappaletta, joista tärkeimmät ovat sen yhdeksän digitaaliporttia. Mikrokontrollerissa on sisäänrakennettuna antennilla varustettu ESP8266-siru, joka mahdollistaa mikrokontrollerin liittämisen langattomaan lähiverkkoon. Kontrollerissa on myös TX- ja RX-portit, jotka mahdollistavat lähiverkkokommunikaation myös langallisesti. Mikrokontrollerin haittapuolena kuitenkin on sen analogiporttien vähäisyys. Kontrollerissa on vain yksi analogiportti, joka rajoittaa tulevaisuuden suunnitelmien toteuttamista kyseisellä mikrokontrollerilla.

Mikrokontrollerin rooli laitteistossa on toimia MQTT subscriber clientinä, joka ohjaa relemoduulia MQTT brokerin antaessa käskyn mikrokontrollerin seuraamalle topicille. Mikrokontrollerin ja relemoduulin väliset kytkennät näkyvät kuvassa 1.



Kuva 1. Mikrokontrollerin ja relemoduulin väliset kytkennät, jossa relemoduuli on ha-vainne- ja komponenttikuvana.

2.4 Relemoduuli

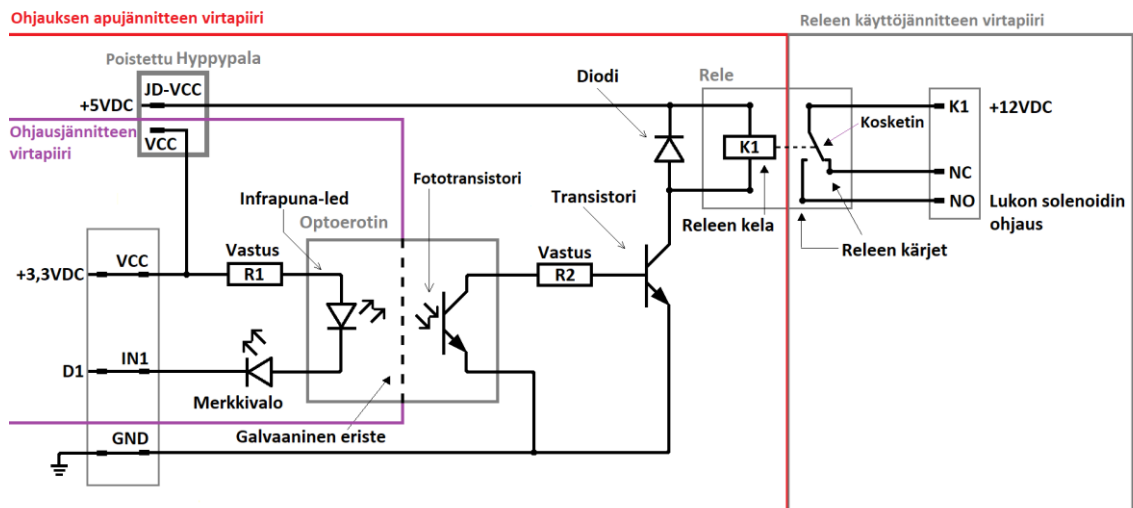
Projektiin valikoitui neljäkanavainen relemoduuli, jonka suurimmat sallitut käyttöjännitteet releillä ovat joko 30 VDC tai 250 VAC. Relemoduulin ohjaukseen vaadittava jännite on 5 VDC. Moduulin ohjausjännitteen puoli on rakennettu kahdesta virtapiiristä, jotka optoerotin erottelee toisistaan vain, jos relemoduulista poistetaan hyppypala JD-VCC ja VCC pinnien väliltä. Erottelun jälkeen ohjausvirtapiiri eli VCC ohjaa vain relemoduulin toimintaa optoerotin infrapuna-ledin avulla. JD-VCC:stä muodostuu ohjauksen apujännitevirtapiiri, johon releiden kelojen aiheuttama resistanssi kohdistuu. Virtapiirien erotelu näkyy kuvassa 2.

Releitä on olemassa useita erilaisia, joiden valinta määräytyy käyttötarkoituksen mukaan. Valitun relemoduulin releet on kytketty kahden virtapiirin välille, jossa releitä ohjaava jännite on matalampi kuin releiden kärkien läpi kulkeva jännite. Moduulissa releet ovat siis kytkettyinä kahteen toisistaan erotettuun virtapiiriin, joita kutsutaan ohjausjännitteeksi ja käyttöjännitteeksi.

Releen käyttöjännitepuolella on saranamainen kosketin, jonka avulla muodostetaan virtapiiri aina COM-kannan ja joko NC- tai NO-kannan välille. COM tulee sanasta "Common", johon ohjattavan laitteen vaatima jännite syötetään. NC on lyhenne sanoille "Normally Closed", joka viittaa lepotilassa suljettuun virtapiiriin. NO on lyhenne sanoista "Normally Open", joka viittaa lepotilassa avoimeen virtapiiriin. Näiden kantojen väliin asennetun koskettimen tilaa manipuloidaan luomalla releen ohjausjännitteen puolelle suljettu virtapiiri. Kun luodaan ohjausjännitteen puolelle suljettu virtapiiri mikrokontrollerin avulla, sen sisällä oleva kela luo ympärilleen magneettikentän. Magneettikenttä vetää käyttöjännitepuolella olevaa kosketinta puoleensa avaamalla NC-kannan lävitse kulkevan virtapiirin ja luoden suljetun virtapiirin NO-kannan läpi. Kun releelle syötettävä ohjausjännite katkaistaan, palautuu kosketin takaisin NC-kantaan jousen avustamana.

Optoerotin on releen kaltainen komponentti, joka mahdollistaa sen, että yksi virtapiiri voi ohjata toista erillistä virtapiiriä. Virtapiirit optoerotin sisällä on eroteltu galvaanisella eristeellä. Optoerotin ohjausjännitepuolella on infrapuna-led, jolla käyttöjännitepuolella olevaa fototransistoria ohjataan. Optoerotin infrapuna-ledin kirkastuessa fototransistorin vastaanottama infrapunavalo luo pienen jännitteen kantaansa. Fototransis-

tori toimii optoerottimen kytkimenä ja kannan saadessa jännitteen fototransistori luo suljetun virtapiirin sen kollektorin ja emitterin välille. Ominaisuus on tärkeä relemoduulin toiminnan kannalta, sillä optoerottimen ansiosta mikrokontrolleri joutuu syöttämään ensimmäiseen virtapiiriin vain infrapuna-ledin vaatiman virran. Optoerottimen käyttöjännitepuolen, tai toisin sanoen ohjauksen apujännitepuolen, virtapiiri syöttää kelojen vetämiseen vaadittavan suuremman virran, jota ei mikrokontrolleri pystyisi itse tuottamaan. Tämä näkyy kuvassa 2, jossa virtapiirit on eroteltu eri värein helpomman hahmottamisen vuoksi.



Kuva 2. Relemoduulin yksittäisen kanavan toiminta, jossa kolme toisistaan eristettyä virtapiiriä on piirretty eri värein.

3 Ohjelmistot

Projektissa käytettiin useita entuudestaan tuntemattomia ohjelmistoja, joiden käyttö oli opiskeltava ennen niiden hyödyntämistä opinnäytetyössä. Ohjelmistojen toimintojen ja ominaisuuksien oppiminen vaatii aikaa sekä lukuisia projekteja ennen ohjelmistojen täyden potentiaalin hyödyntämistä. Alaluvuissa onkin kirjoitettu vain entuudestaan tuntemattomien ohjelmistojen niistä toiminnoista, joita opinnäytetyössä on hyödynnetty.

3.1 Raspberry Pi OS with Desktop (Raspberryn käyttöjärjestelmä)

Raspberry Pi OS on ehkä yleisin Raspberrylle luotu käyttöjärjestelmä, joka tunnettiin aiemmin nimellä Raspbian. Käyttöjärjestelmää käytetään vain päätteeseen syötettävien komentokehotteiden avulla. With Desktop -versio eroaa perinteisestä käyttöjärjestelmästä sille luodun käyttäjäystävällisen työpöytänäkymän avulla. Työpöytänäkymällä olevan käyttöjärjestelmän haittapuolet ovat sen huomattavasti suurempi koko ja suurempi keskusmuistin kulutus. Työpöytäversion etuna on mahdollisuus käyttöön sekä visuaalisesti että pelkän päätteiden avulla. (7, s. 6.)

3.1.1 Käyttöjärjestelmän asennus

Käyttöjärjestelmä asennettiin Raspberryn kovalevyksi hankitulle muistikortille tietokoneen avulla. Käyttöjärjestelmä on ladattavissa ilmaiseksi raspberrypi.org -sivustolta. Ladattu käyttöjärjestelmä oli pakatussa kansiossa levykuvatiedostona (.iso). Kun tiedosto saatiin latauksen jälkeen purettua, oli tietokoneelle ladattava balenaEtcher -ohjelmisto. Ohjelmistolla levykuva poltettiin muistikortille, jonka jälkeen käyttöjärjestelmä oli asennettuna muistikortilla. Kun muistikortti, näyttö, näppäimistö ja hiiri oli liitetty Raspberryn, se käynnistettiin ja käyttöjärjestelmän kysymät asetukset asetettiin halutun laisiksi. Seuraavaksi käyttöjärjestelmälle haettiin päivitykset verkosta syöttämällä päivityskomennot päätteeseen. Tämän jälkeen käyttöjärjestelmä oli päivitetty ja valmis käytettäväksi.

3.1.2 Käyttöjärjestelmän rooli projektissa

Käyttöjärjestelmälle on asennettu kaksi ohjelmistoa ja kaksi ohjelmistopakettia, jotka on ohjelmoitu käynnistymään käyttöjärjestelmän käynnistyksen yhteydessä. Yksi ohjelmistoista on Mosquitton MQTT broker, josta kerrotaan luvussa 3.2. Toinen ohjelmisto on Node-RED, josta kerrotaan luvussa 3.3. Ohjelmisto pakettien ja käyttöjärjestelmän muutoksilla on Raspberrystä luotu myös langaton tukiasema. Langatonta tukiasemaa ei voi

laskea ohjelmistoksi. Tästä syystä se onkin sisälletty käyttöjärjestelmän seuraavaksi alaluvuksi.

3.1.3 Langaton tukiasema

Raspberrystä yhdyspisteenä käyttäminen vaatii kahden ohjelmistopakettien asentamista, jotka ovat dnsmasq ja hostapd. Nimi hostapd on lyhenne englanninkielisestä nimestä ”host access point daemon”. Hostapd muuttaa laitteen langattoman verkkosovittimen eli wlan0:n tukiasemaksi, johon langatonta verkkoa käyttäviä laitteita voi yhdistää. Dnsmasq on ohjelmisto, joka luo DNS-välimuistin, DHCP-palvelimen ja verkon käynnistämiseen vaadittavat ominaisuudet. dnsmasq:n ja hostapd:n toimintaperiaatteista voisi kirjoittaa kokonaisen opinnäytetyön, joten ei niiden toimintaan perehdytä tässä työssä tätä enempää.

Dnsmasq- ja hostapd-asennuksen jälkeen oli alettava muuttamaan Raspberryn käyttöjärjestelmän kansioita. Jokaisen muokatun kansion sisältö kopioitiin varmuuskopioksi uudella nimellä lisäämällä alkuperäisen nimen perään ”.orig” ennen muokkausten tekoa.

Tukiasema vaatii toimiakseen staattisen IP-osoitteen langattomalle verkkosovittimelle eli wlan0:lle, joka tarkoittaa kiinteää muuttumatonta IP-osoitetta. Staattinen IP-osoite asetettiin wlan0:lle dhcpd.conf -tiedoston perään kirjoittamalla alla olevat määrittelyt.

```
interface wlan0
    static ip_address=192.168.4.1/24
```

Seuraavaksi oli muutettava dnsmasq:n tarjoamien DHCP- ja DNS-palvelujen tiedostoja. Luvun alla olevissa asetuksissa aliverkon peitteeksi on määritetty 255.255.255.0. DHCP:lle on annettu vain 19 IP-osoitetta jaettavaksi lähiverkkoon yhdistäville laitteille 24 tunnin ajaksi kerrallaan.

```
interface=wlan0 # Kuunteleva rajapinta
dhcp-range=192.168.4.2,192.168.4.20,255.255.255.0,24h
```

```
                # DHCP:n tarjoamat IP-osoitteet
domain=wlan     # Langattoman lähiverkon DNS domain
address=/gw.wlan/192.168.4.1
                # Tukiaseman nimi ja osoite
```

Tämän jälkeen varmistettiin, että langaton verkkosovitin on varmasti käytössä kirjoittamalla päätteeseen käsky "sudo rfkill unblock wlan".

Viimeinen vaihe langattoman tukiaseman luomiseen oli luoda tukiasemalle oma asetus-kansio. Kansiota muokkaamalla valitaan haluttu salasana ja verkon nimi. Kansio luotiin hostapd-kansion sisälle nimellä hostapd.conf eli koko tiedostopolkuna (sudo nano /etc/hostapd/hostapd.conf) kansion sisälle kirjoitettiin seuraavat määrittelyt.

```
country_code=FI
interface=wlan0
ssid=Verkon_nimi
hw_mode=g
channel=7
macaddr_acl=0
auth_algs=1
ignore_broadcast_ssid=0
wpa=2
wpa_passphrase=Salasana
wpa_key_mgmt=WPA-PSK
wpa_pairwise=TKIP
rsn_pairwise=CCMP
```

Näiden tiedostonmuutosten jälkeen Raspberry käynnistyessään luo aina automaattisesti langattoman lähiverkon. (4, s. 7-9.)

3.2 Mosquitto MQTT broker

MQTT broker on laite, joka on asetettu Mosquitto MQTT broker on MQTT-viestintäprotokollan toiminnan kannalta sen tärkein laite, johon muut verkossa olevat laitteet eli clientit yhdistetään. MQTT brokerina voi toimia mikä tahansa samaan verkkoon kytketty TCP/IP-pinon omaava laite, kuten logiikka tai mikrokontrolleri. Brokerin tehtävä on käsitellä ja reitittää jokainen verkossa liikkuva viesti topicin mukaan oikeille subscriber clienteille.

3.3 Node-Red

Node-Red on IBM:n kehittämä selainpohjainen avoimen lähdekoodin ohjelmointityökalu, jonka ohjelmointi toteutetaan ohjelmointilohkojen avulla. Ohjelmointi Node-RED:llä tehdään selaimessa olevan editorin avulla. Ennen kuin ohjelmoinnin voi aloittaa, on laitteelle asennettava Node-RED -ohjelmisto, joka käynnistää Node-RED -serverin laitteiston taustaprosessiksi. Ennen ohjelmoinnin aloittamista on serveri aina käynnistettävä, sillä se lukee ja tallentaa kaikki editoriin kirjoitettavat komennot. Node-RED:in käyttäminen vaatii myös Node.js:n asennuksen laitteeseen. Node.js on alustasta riippumaton avoimeen lähdekoodiin pohjautuva ajoympäristö JavaScriptille. (3, s. 9.)

Node-Redin yksi suurimmista eduista on sen käyttäjien luoma laaja kirjasto, josta on mahdollista ladata ja yhdistellä muiden käyttäjien luomia toimintalohkoja omien käyttötarkoitusten mukaisiksi. Node-Redissä on siis myös mahdollisuus omien lohkojen luontiin. Se kuitenkin vaatii hyvää JavaScript-ohjelmoinnin osaamista.

Tässä projektissa Raspberryn käyttöjärjestelmä on ohjelmoitu niin, että sen käynnistyessä käynnistyy myös useita taustaprosesseja ja selainpohjainen ohjauspaneeli. Yksi Raspberryn käyttöjärjestelmän käynnistämistä taustaprosesseista on Node-RED, joka käynnistymisensä jälkeen on käyttäjälle näkymätön. Kyseisen prosessin toimintaa on mahdollista ohjata vain kirjoittamalla komentokehoteita Raspberryn käyttöjärjestelmän päätteeseen. Syy ohjelmien taustalla ajamiseen on se, ettei käyttäjä pysty vahingossa pysäyttämään prosessien toimintaa.

Käynnistyessään Raspberryn käyttöjärjestelmä asettaa myös automaattisesti selaimen verkko-osoitteen, johon se samalla kirjautuu sisään. Verkkosivustolle aukeaa Node-RED:in ohjauspaneeli. Ohjauspaneeli on käyttäjälle rakennettu käyttöliittymä, joka mahdollistaa laitteiston ohjauksen ilman mahdollisuutta vaikuttaa ohjelmiston rakenteeseen. Käyttäjän on siis mahdollista syöttää vain laitteiston toiminta-aikoja ohjaavia parametreja, jotka käyttöliittymä välittää varsinaiselle ohjelmistolle. Käyttäjälle annetuilla kirjautumistunnuksilla, jotka on tarkoitettu käyttöliittymän verkkosivustolle kirjautumiseen, pystyy myös kirjautumaan Node-RED-editoriin, jossa varsinainen ohjelmisto on. Näiden tunnusten oikeudet kuitenkin riittävät vain ohjelmiston katseluun eikä käyttäjä voi sotkea koodia.

Syy kyseiseen ratkaisuun on se, ettei Node-RED:iin kirjoitettua koodia tai sen toimintalohkoja kykenisi vahingossa tai tarkoituksellisesti sekoittamaan. Toteutustapa myös varmistaa, ettei ohjelmistomuutoksia kykene tekemään kuin henkilö, joka ymmärtää Node-RED:in toimintaa.

3.4 Arduino IDE

Arduino IDE on ohjelmisto, jolla ohjelmoidaan mikrokontrollereita. Ohjelmistolla kirjoitetaan mikrokontrollerille lähetettävä ohjelma. Ohjelmaa ei ole kuitenkaan mahdollista lähettää mikrokontrollerille ennen kuin ohjelmisto on tarkistanut sen luettavuuden. Kun ohjelma läpäisee tarkistuksen, ohjelmisto pakkaa ja muuntaa koodin mikrokontrollerin ymmärtämään muotoon.

Ohjelmisto sisältää myös Serial Plotterin, jonka avulla pystyy lukemaan kaiken mikrokontrollerin lähettämän ja vastaanottaman datan. Serial Plotter onkin mahdollisesti yksi Arduino IDE:n tärkeimmistä työkaluista, kun käytetään langatonta verkkoa. Sen avulla on helppo tarkistaa, mihin verkkoihin laite on onnistunut itsensä yhdistämään. Lisäksi tämä työkalu tekee vianmäärityksestä ongelmatilanteessa ylipäätään mahdollista. Serialplotterilla on myös lukuisia muita tärkeitä tehtäviä. Sillä voi esimerkiksi lukea lämpötila-anturin analogiporttiin lähetettävän jännitteen suuruutta, mikä mahdollistaa anturin kalibroinnin.

Projektissa käytettävät mikrokontrollerit yhdistetään tietokoneeseen kaapelilla, jonka tietokoneen puoleisessa päässä on USB 2.0 -liitin ja kontrollerin päässä mikro USB -liitin. Kaapelilla myös luetaan Serial Plotterin keräämää dataa laitteelta.

Projektissa on käytetty Arduino IDE:n omien kirjastojen lisäksi käyttäjien itseluomia avoimen lähdekoodin kirjastoja, jotka ovat PubSubClients- sekä ESP8266wifi-kirjastot. Lisäämällä nämä kirjastot ohjelmistoon mikrokontrolleri ja ohjelmisto oppivat ymmärtämään uusia käskyjä. PubSubClients opettaa ohjelmistoa ymmärtämään MQTT-reitityksen sekä laitteen roolin clientina. ESP8266WiFi-kirjasto opettaa ohjelmistoa ja laitteistoa ymmärtämään Wi-Fi-reititykseen tarvittavia muuttujia sekä käskyjä. Ilman ESP8266WiFi-kirjastoa mikrokontrolleri ei pystyisi yhdistämään langattomaan verkkoon.

4 Kommunikaatio

Laitteistojen välistä dataliikenneprotokollaa joudutaan muuttamaan, mikäli tulevaisuudessa pyrittäisiin verkonvälityksellä tapahtuvaan ohjaukseen. Kuitenkin laitteistojen väliseen kommunikaatioprotokollaan ollaan tyytyväisiä, eikä tarkoituksena ole kuin korkeintaan vaihtaa Mosquitto brokerin tarjoama MQTT:n 3.1-versio HiveMQ:n tarjoamaan brokeriin, joka pohjautuu MQTT:n 5.0-versioon.

4.1 Kosketusnäytön yhdistäminen logiikkaan

Opinnäytetyön ohjauksen ensimmäiseksi kriteeriksi asetui se, että mikäli projektin tavoitteet kustannustehokkuuden saralta täyttyvät, olisi kaikkia tulevaisuudessa valmistettavia automaatteja mahdollista ohjata yhdellä kosketusnäytöllä. Edellä mainitun kriteerin vuoksi projektin logiikaksi valikoitui Raspberry Pi 4, sillä kosketusnäytön integrointi kyseiseen laitteeseen olisi helposti toteutettavissa hyvin kustannustehokkaasti. Projektissa käytettävä kosketusnäyttö valikoitui sen perusteella, kuinka helposti näytön kosketusominaisuuden ja kuvan välityksen saisi toimimaan Raspberryn kanssa. Projektin valikoi-

tunut näyttö olikin suunniteltu käytettäväksi Raspberryn kanssa. Lisäksi näytön takapaneeliin oli tehty kannake Raspberryn kiinnittämiseen. Kannake osoittautui loistavaksi asennuspaikaksi Raspberrylle, sillä näytön mukana toimitetut määrämittaiset kaapelit tekivät laitteiden väliset kytkennät siisteiksi ja helpoiksi toteuttaa. Näytön ja Raspberryn välinen dataliikenne toteutettiin kaapelilla, jonka Raspberryn kytkettävässä päässä on USB 2.0 -liitin ja näyttöön kytkettävässä päässä neljällä pinnillä varustettu pikaliitin. Kuvan välittäminen toteutettiin kosketusnäytöltä Raspberrylle mikro-HDMI-liittimen avulla.

4.2 Releiden ohjaus logiikalla

Ensimmäinen suunnitelma ohjausyksikön sekä heinäautomaatin väliseen kommunikointiin oli hyödyntää Raspberryn I/O -lähtöjä heinäautomaatin releiden ohjaukseen. Suunnitelma kuitenkin osoittautui käytännössä mahdottomaksi laitteistojen välisten pitkien välimatkojen aiheuttaman jännitehäviön vuoksi. Lisäksi vaikka ratkaisun saisi toteutettua sen käytännöllisyys olisi erittäin huono, sillä yhden yksittäisen automaatin ohjaus erikseen olisi käytännössä mahdotonta ilman massiivista kaapeloinnin tarvetta. Ratkaisun pohtiminen kuitenkin osoittautui projektin kannalta tärkeäksi vaiheeksi, sillä sen tuottamiseen käytetty informaation haku auttoi ymmärtämään useiden komponenttien toimintaa, joista yksi oli relemoduuli, josta on kerrottu luvussa 2.4. Ajustustyö myös asetti uudeksi kriteeriksi mahdollisimman vähäisen kaapeloinnin tarpeen. Tämän myötä tavoitteeksi muodostui toteuttaa ohjaukset langattomasti.

Laitteiston kaikki ohjainmoduulit oli tarkoitus yhdistää reitittimen luomaan langattomaan lähiverkkoon. Raspberry ja sen käyttöjärjestelmä osoittautuivat kuitenkin ennakoituja monipuolisemmiksi, sillä muutaman ohjelmistopakettien ja käyttöjärjestelmän ohjelman muutoksilla siitä oli mahdollista luoda langattoman lähiverkon tukiasema. Tämä oli projektin kannalta positiivinen yllätys, sillä se säästäisi 50 – 100 euroa budjetista. Kun kaikki laitteet viimein saatiin yhdistettyä samaan lähiverkkoon, oli aika alkaa harkita parasta viestintäprotokollaa kommunikointiin mikrokontrollerien ja Raspberryn välillä.

4.3 Kommunikaatioprotokolla

Kommunikaatioprotokollaksi valikoitui MQTT, jonka toiminta pohjautu TCP/IP-pinon päällä ajamiseen. MQTT on kevyt avoimen lähdekoodin viestintäprotokolla, jonka toiminta perustuu publish/subscribe -viestintätapaan. MQTT-viestinnän toiminta on hyvin samantapainen kuin kirjepostin toimintamalli. Kirjepostia lähetettäessä lähettäjä täyttää kirjekuoren kanteen oman sekä vastaanottajan nimet ja osoitteet. Näiden tietojen avulla postikeskus osaa ohjata kirjeen oikealle vastaanottajalle tai palauttaa kirjeen takaisin lähettäjälle, mikäli vastaanottavaa henkilöä ei ole olemassa.

MQTT -viestinnässä viestin lähettäjä eli publisher tietää vain lähettämänsä viestin sisällön ja sen osoitteena toimivan aiheen eli topicin. Viesti on lähetettävä "postikeskukselle" eli MQTT-brokerille. Brokerin vastaanottaessa publisherin lähettämän viestin se kysyy kaikilta "asiakkailtaan" eli clienteleiltä, ketä kyseiseen viestiin liittyvä aihe kiinnostaa ja lähettää viestin edelleen jokaiselle aiheesta kiinnostuneelle "vastaanottajalle" eli subscriberille. (8, s. 13.)

Syy Mosquitton tarjoaman MQTT brokerin käyttämiseen projektissa on sen tarjoama helppo asennus Raspberryille. Asennus Raspberryille tapahtui kahdella komennolla: Raspberryn komentokehoite ikkunaan komennoilla "sudo apt-get install mosquitto" ja "sudo apt-get install mosquitto-clients". Tämän jälkeen Raspberry käynnisti Mosquitton brokerin komentokehoteella "mosquitto", joka automatisoitiin myöhemmin käynnistymään automaattisesti Raspberryn käyttöjärjestelmän käynnistyksen yhteydessä. Käynnistyksen automatisointi pitäisi tapahtua helposti komennolla "sudo systemctl enable mosquitto". Tässä projektissa kyseinen käsky ei kuitenkaan toiminut, jonka seurauksesta jouduttiin käynnistys automatisoimaan muuttamalla manuaalisesti Raspberryn käyttöjärjestelmän tiedostoja. Mosquitton broker käyttää MQTT 3.1 -versiota

5 Sähköistys

Etäohjausyksikön vaatima 12 VDC syötetään pistorasiaan kytkettävältä muuntajalta. Pistorasiat asennetaan automaattien yläpuolella olevaan valaisinhyllyyiin. Pistorasioiden syöttö tuodaan pääkeskukseen asennettavalta 10 ampeerin automaattisulakkeelta, joka kytketään vikavirtasuojan taakse. Kaapeloinnin yhteydessä asennetaan myös 6 mm² - maadoituskaapeli tallin potentiaalintasauskiskolta valaisinhyllylle, joihin jokainen automaatti erikseen maadoitetaan.

Automaatit vaativat lisäpotentiaalintasauksen sillä SFS 6000-7-705 -standardin mukaan

Eläimille tarkoitetuissa tiloissa on tehtävä lisäpotentiaalintasaus, johon on yhdistettävä kaikki asennuksen suojajohtimet, jännitteelle alltiit osat ja muut johtavat osat, joita eläimet voivat koskettaa. Jos lattiaan on upotettu metalliverkko, se on sisällyttävä potentiaalintasaukseen. (6, s. 14.)

Asennettuihin pistorasioihin kytketään muuntaja, joka muuntaa pistorasiaan tulevan 230 VAC 12 VDC:ksi. Tämä tasavirtajännite on tarkoitus viedä heinäautomaatin kannen päälle asennettavaan AP10-kytkentärasiaan, joka toimii ohjainkotelona automaattia ohjaavalle mikrokontrollerille ja relemoduulille.

6 Ohjainlaitteet

Ohjausyksiköitä joudutaan rakentamaan vähintään neljä kappaletta ja korkeintaan kahdeksan kappaletta lisää tuleviin automaatteihin. Tuleviin etäohjausyksiköihin asennettavat komponentit kuitenkin tulevat poikkeamaan osittain opinnäytetyössä käytetyistä komponenteista, sillä työn ohella selvitettyjen tietojen perusteella on ymmärrys komponenteista parantunut huomattavasti.

6.1 Etäohjausyksikkö

Mikrokontrolleri ja relemoduuli vaativat 5 VDC:n syötön toimiakseen. Releen COM-kantaan syötettävän käyttöjännitteen on oltava 12 VDC, jotta se voi ohjata automaattiin asennettavia solenoidi-vapautuksella olevia lukkoja. Lukoissa olevien solenoidien jännitteen syöttö otetaan releen NO-kannasta, joka releen vetäessä luo suljetun virtapiirin COM-kannan välille. Kyseisen virtapiirin sulkeutuessa 12 VDC ohjautuu lukossa olevaan solenoidiin, joka näin vapauttaa lukituksen samalla tiputtaen heinäannoksen hevosille.

Tavoitteena oli tuoda ohjainyksikköön vain yksi syöttö, josta jännitteet saisi eroteltua ja jaettua laitteille. Ratkaisu jännitteiden erotteluun toteutettiin rakentamalla piirilevy, johon mikrokontrolleri sekä relemoduuli kytkettäisiin. Lisäksi piirilevyyn asennettiin L7805cv-jänniteregulaattori, jonka 1. jalan (syötön) ja 2. jalan (maan) välille juotettiin 330 μ F-kondensaattori sekä 100 μ F kondensaattori 3. jalan (ulostulon) ja 2. jalan (maan) välille. Näin regulaattorin ulostulosta saatiin 5 VDC syöttäessä sille 12 VDC. Regulaattori lämpeni laitteiston maksimikuormalla noin 85-asteiseksi, joten sille tilattiin jäähdytyskenno lämmön hajauttamiseksi.

Piirilevyyn juotettiin myös ruuviliittimet 12 VDC-syötölle, 5 VDC-ulostulon varaukselle sekä solenoidien maadoitusjohtimille. Lisäksi piirilevyyn juotettiin sma-antenniliitin ulkoisen antennin asentamiseksi, sillä koteloon komponentit sekä kansi heikensivät signaali-voimakkuutta radikaalisti tehden näin yhteydestä epästabiilin. Mikrokontrollerin sekä relemoduulin juottaminen mikropiiriin mahdollisti kokonaisuuden sovittamisen pienempään tilaan ja teki kotelosta siistimmän.

Piirilevyn ansiosta komponenttien välisille johdotuksille ei ollut enää tarvetta, sillä kaikki komponenttien väliset kontaktipinnat yhdistettiin toisiinsa juottamalla. Tämä poisti myös huolen johtojen sulamisesta niiden ollessa kontaktissa L7805CV -jänniteregulaattorin tai sen jäähdytyskennon kanssa. Kokonaisuus sovitettiin kuvan 3 mukaisesti ABB:n AP10-kytkentärasiaan, jonka IP-luokitus on 55. Tämä tarkoittaa sitä, että rasia on suojattu pölyltä, ja se kestää suoran vesisuihkun suunnasta riippumatta. Kuvassa 3 näkyy kokonaisuus asennettuna ABB:n AP 10 -kytkentärasiaan.



Kuva 3. Valmis heinäautomaatin etäohjauksikkö, josta puuttuu vain jänniteregulaattorin jäähdytysritilä.

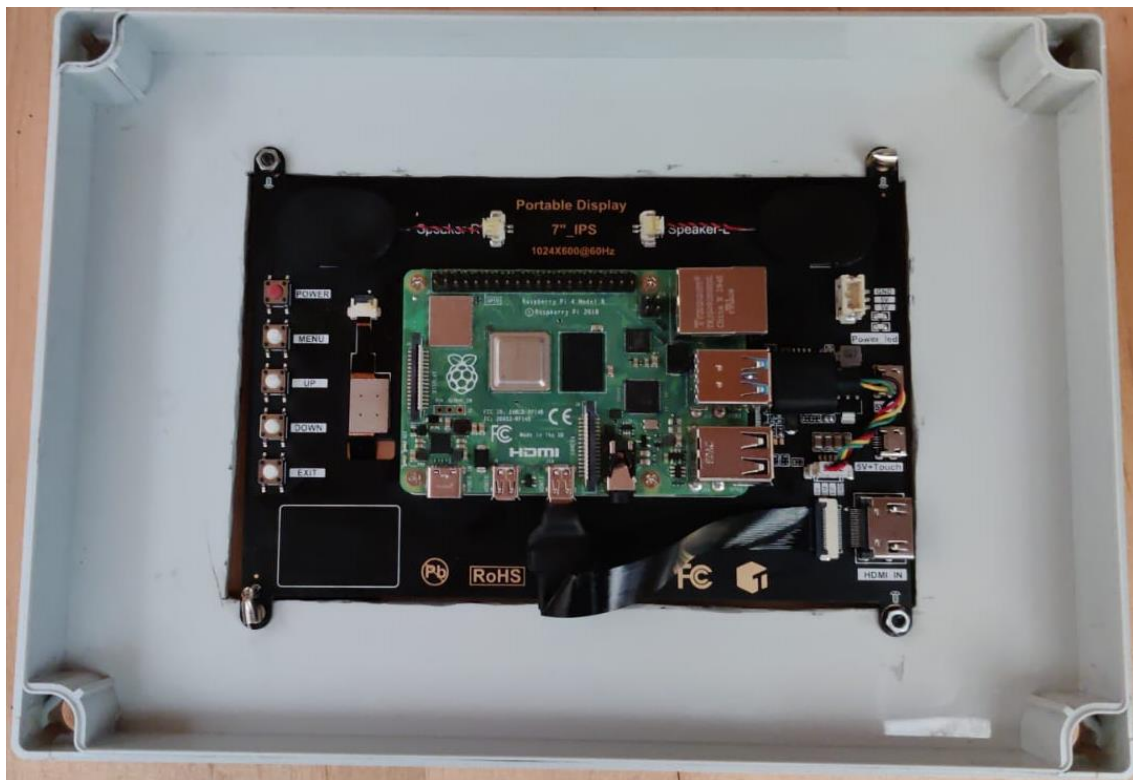
6.2 Ohjauksikkö (logiikka)

Projektin logiikan kosketusnäyttö on suunniteltu käytettäväksi Raspberry Pi:n kanssa. Kosketusnäytön taakse on rakennettu teline, johon Raspberry kiinnitetään. Näytön mukana toimitettiin kaikki komponenttien yhdistämiseen vaadittavat kaapelit, jotka valmistaja on mitoittanut oikean pituisiksi. Määrämittaiset kaapelit mahdollistavat siistin asennuksen laitteiden välille. Kosketusnäytölle valikoituneen FIBOX:n kotelon kanteen sahattiin näytön kokoinen ala, mihin kosketusnäyttö kiinnitettiin ruuveilla. Näytön kiinnitys kotelon kanteen näkyy kuvassa 4. Kannen sekä näytön välinen sauma tiivistettiin saumaliimalla, jotta pöly pysyisi kotelon ulkopuolella.

Näytön ainoaksi ongelmaksi osoittautui sen virtapainikkeen sijoitus. Painike on sijoitettu näytön takapuolelle, joten kotelointi estäisi painikkeen käyttämisen ilman kotelon avaamista. Ongelma kuitenkin ratkaistiin juottamalla painikkeen juotoskohtiin kaapelit, jotka mahdollistivat uuden painikkeen asentamisen koteloon integroidun painikkeen rinnalle. Näin uusi painike saatiin asennettua käytännöllisempään paikkaan kotelon ulkopuolelle.

Logiikan virransyöttö toteutettiin C-tyyppin USB-kaapelilla, joka syöttää virran Raspberry pi:lle. Raspberry taas syöttää virran edelleen sen USB 2.0 -portista kosketusnäytölle.

USB-kaapeli kuljettaa myös kosketusnäytön kosketuksesta syntyvän datan Raspberlylle. Kuvan välitys Raspberlyltä näytölle välitettiin mikro-HDMI-kaapelin avulla. Logiikan koteloksi valikoitui FIBOX:n (255 x 180 x 75 millimetrin) muovikotelo, joka on turhan suuri tämänhetkiseen varusteluun nähden. Kuvassa 4 näkyy kosketusnäytön takapaneeli kiinnitettynä FIBOX:n kotelon kanteen.



Kuva 4. Raspberry kiinnitettynä kannakkeisiinsa kosketusnäytön takapaneelin.

7 Runko

Rungon suunnittelussa sekä valmistuksessa huomioitavia asioita oli paljon. Laitteen käyttöikä perustuu suurimmalta osin rungon korroosiosuojaan, jonka vuoksi materiaali-vaihtoehtojen ominaisuuksiin oli perehdyttävä ja niitä oli vertailtava toisiinsa.

7.1 Suunnittelu

Projekti alkoi heinäautomaattien asennuspaikkojen valinnalla. Loogisimmaksi paikaksi osoittautui vierekkäisten karsinoiden väliseinien etukulma. Ratkaisu on käytännöllisin heinäautomaatin täyttämisen kannalta ja samalla myös kustannustehokkain, sillä se mahdollistaa yhden mikrokontrollerin ohjauksen kahta yksikköä kohden. Ratkaisu myös puolittaa kaapeloinnin tarpeen, ja kulmaan asennettuna se on suojassa kömpelöiden hevosten törmäilyltä. Ratkaisun ainoana negatiivisena puolena on tarve rakentaa automaatteja sekä oikea- että vasenkätisinä. Ongelma oli kuitenkin helppo ratkaista suunnitteleamalla automaatin sivuista symmetriset. Näin automaatista ei tarvitsisi tehdä kaksia kuvia metallin työstöä varten ja halutessa kätisyyden voisi vaihtaa nopeasti. Lisäksi tilaajan toiveeksi tuli, että automaatit saisi halutessaan myös siirrettyä väliseinien takakulmiin, joka myös edellyttäisi kätisyyden vaihtoa.

Asennuspaikkojen selvittyä oli automaateille aloitettava suunnittelemaan parasta mahdollista muotoa, materiaalia ja tukirakenteita. Muotoa oli suunniteltava pohtimalla ensin, mitä kriteereitä muotoilun olisi täytettävä.

- Laitteen muodossa ei saa olla teräviä kulmia, joihin hevoset saattaisivat loukata itsensä.
- Laitteen sisäpuolen tulee olla mahdollisimman tasainen, jottei heinä takertuisi kiinni esimerkiksi tukirakenteisiin.
- Laite pitäisi asentaa kulmaan hyödyntääkseen mahdollisimman paljon seinien tuomaa tukevuutta sekä ollakseen mahdollisimman vähän hevosten tiellä.
- Rungon sivujen tulisi olla symmetriset.
- Rungon tulisi olla mahdollisimman kevyt mutta tukeva.

Kriteereitä täytettäviä muotoja ei oikeastaan ollut kuin yksi, joten työn tilaajalta konsultoitiin halutun kerta-annoksen suuruutta mittojen selvittämiseksi. Ohjeistukseksi tuli, että kerta-

annoksen tulisi olla noin IKEA:n ison FRAKTA kassin kokoinen. FRAKTA kassin tilavuudeksi selvisi 71 litraa, joka asetti yksittäisen annoksen tavoitetilavuudeksi vähintään 80 litraa.

7.2 Rungon rakenne

Aluksi laitteen runko oli tarkoitus rakentaa kalusteputkesta, jonka jälkeen laitteen sisäpuoli verhoiltaisiin teräslevyarkkeilla. Suunnitelma kuitenkin todettiin huonoksi, sillä laitteen paino olisi noussut kriittisen suureksi. Lisäksi suunnitelma olisi nostanut rungon materiaalikustannuksia huomattavasti. Lisäksi se olisi moninkertaistanut työvoimakustannukset luoden projektista taloudellisesti kannattamattoman. Näin ollen ainoaksi vaihtoehdoksi rungon toteuttamiseksi jäi rungon rakentaminen yhdestä levymetalliarkista taivuttamalla runko muotoonsa. Rungon taivuttamisen jälkeen runko vahvistettaisiin hitsaamalla siihen tukirakenteita ja kansi.

7.3 Konsultointi

Tässä vaiheessa projektia otettiin yhteyttä läheisellä paikkakunnalla toimivaan levymetallintyöstöyritykseen, jossa myös käytiin esittämässä automaattista paperille piirretty suunnitelma. Yritykseltä tiedusteltiin halukkuutta laitteiston ja mahdollisten tulevien laitteiden metallitöiden toteuttamiseen. Yritykseltä myös tiedusteltiin materiaali- ja levynpaksuussuosituksia sekä leikkauksessa käytettävien kuvien formaatteja. Lisäksi käynnin yhteydessä selvisi, ettei automaatin tulisi olla korkeampi kuin 1250 millimetriä, jotta sen voisi valmistaa yhdestä arkista ilman hitsaamista. Yritykselle oli tarkoitus tulla uusi kuitulaserleikkuri huhtikuun puolivälissä, mutta toimitus viivästyi eikä laserin asennusta saatu kuntoon ennen opinnäytetyön päättymistä.

7.4 Materiaalivaihtoehdot

Materiaalin tulisi olla kestävä, sillä olosuhteet tallissa ovat rajuja metalleille. Tallissa heinistä irtoavan pölyn sekä vaihtelevan kosteuden lisäksi oli huomioitava hevosten erittämän virtsan määrä. Hevoset erittävät vuorokauden aikana suuria määriä virtsaa, joka vapauttaa ilmaan ammoniakkikaasua. Ammoniakkikaasu kiihdyttää metallin korroosio-prosessia. Tämän vuoksi levyn materiaalivaihtoehtoiksi valikoituivat vain hyvän korroosiosuojan omaavat materiaalit.

Ensimmäinen ja mieluisin vaihtoehto oli ruostumaton teräs eli puhekielellä rosteri. Ruostumaton teräs sisältää enintään 1,2 % hiiltä, ja vähintään 10,5 % kromia, joka reagoi-
saan ilmassa olevan hapen kanssa käynnistää kemiallisen reaktion. Kemiallinen reaktio luo teräksen pinnalle korroosiota vastaan suojaavan kalvon. Ruostumattoman teräksen suurin haittapuoli on sen hyvin korkea hinta. (2, s. 20.)

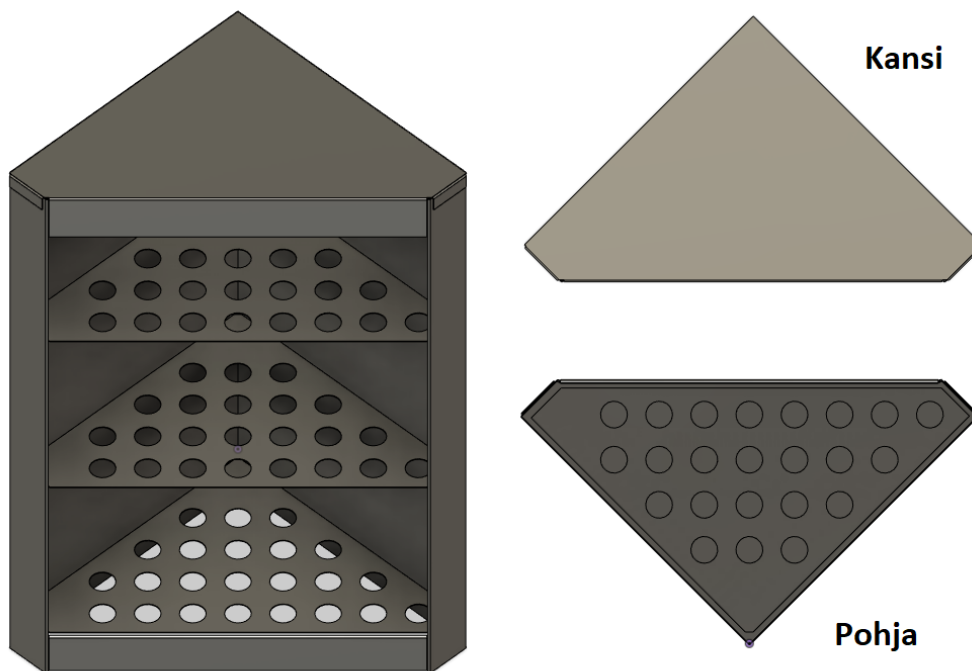
Kuumasinkitty tai toisin sanoen galvanoitu teräslevy on lähes kolme kertaa halvempaa kuin ruostumaton teräs. Kuumasinkitty teräs on tavallista terästä, joka ensin puhdistetaan laimeassa suolahapossa. Puhdistuksen jälkeen teräs huuhdellaan vedellä, jonka jälkeen teräs upotetaan juoksutekylpyyn. Juoksutekylpy luo teräksen pinnalle suolakorroosuksen, jonka tarkoituksena on suojata teräksen hapettumista ennen sinkityksen aloittamista. Kun teräksen sinkitys aloitetaan, se kastetaan sulaan 450 asteiseen sinkillä täytettyyn altaaseen, jossa puhdas teräs ja sinkki reagoivat keskenään. Prosessissa teräksen pinnalle muodostuu sinkkikalvo, jonka paksuus riippuu upotusajan pituudesta. Materiaaliksi valikoitui kustannustehokkuutensa vuoksi kuumasinkitty teräs, joka jauhemaalauksenkin jälkeen on yli kaksi kertaa halvempi ratkaisu kuin ruostumaton teräs. (1, s. 20.)

7.5 Jauhemaalaus

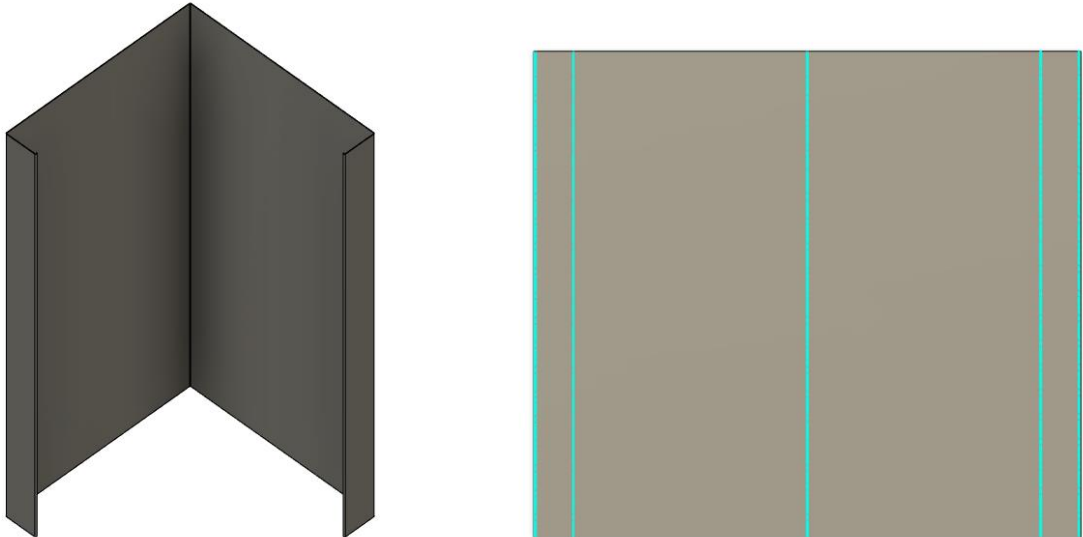
Jauhemaalauksessa on maalattavan kappaleen johdettava sähköä, sillä kappale on maadoitettava ennen maalaamisen aloittamista. Jauhemaalauksessa maalijauhe kiihdytetään ruiskun läpi paineilman avulla kohti maalattavaa kohdetta. Ruisku luo lävitseen virtaavaan jauheen hiukkasiin elektrostaattisen varauksen, jonka vuoksi maadoitettu maalattava kappale vetää jauhetta puoleensa. Kun jauhe on levitetty maalattavan kappaleen pinnalle, siirretään kappale polttouuniin, jossa pulveri sulatetaan maalattavan kappaleen pintaan kiinni. Jauhemaalauksen ulkonäöllisen hyödyn lisäksi sen ominaisuuksiin kuuluu suoja metallin korroosiota vastaan. (9, s. 20-21.)

7.6 Rungon mallinnus

Fusion 360 on kolmiulotteinen pilvipohjainen mallinnusohjelmisto. Ohjelmisto on hyvin monipuolinen ja sillä voi mallintaa hyvinkin monimutkaisia malleja. Ohjelmiston hinta on noin 60 euroa, joka oli kuitenkin opiskelutodistuksen toimittaessa opiskelijoille ilmainen. Ohjelmistolla tehty mallinnustyö vei useita viikkoja, sillä ohjelmiston käyttöä oli opiskeltava ennen varsinaisen mallin luomista. Tässä projektissa on käytetty vain Fusionin levymetallimallinnusohjelmistoa, jolla malli on piirretty ensin kolmiulotteiseksi niin kuin kuvassa 5. Kolmiulotteinen malli on piirretty PDF-kuvaksi, johon kaikki rungon mitat ja kulmat on merkitty. Tämän jälkeen kuvat avattiin kaksiulotteisiksi kuvan 6 mukaisesti Fusionin spreadsheet -toiminnon avulla laserleikkuuta varten.



Kuva 5. Valmiin automaatin havainnekuva ilman ovea, saranoita ja sähkölaitteita.



Kuva 6. Fusionilla piirretyn rungon yksittäinen osa vasemmalla kolmiulotteisena, ja oikealla spreadsheet-toiminnon levittämänä.

8 Pohdinta

Laitteiston kehitystyö tulee jatkumaan opinnäytetyön päätyttyä, sillä heinäautomaatteja tullaan valmistamaan vielä kahdeksan kappaletta lisää. Myös etäohjausyksiköitä joudutaan valmistamaan enintään kahdeksan ja vähintään neljä kappaletta. Valmistettavien etäohjaus yksiköiden lukumäärään tulee vaikuttamaan pitkälti laitteistoon liitettävien lisäominaisuuksien määrä.

8.1 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteina oli suunnitella ja toteuttaa kustannustehokas lähiverkossa toimiva heinäautomaatti ja sen ohjainlaitteisto. Ohjainlaitteisto saatiin rakennettua ja sen kaikki toiminnot pystyttiin testaamaan. Myös laitteiston ohjauspaneelista saatiin rakennettua hyvin käyttäjäystävällinen ja helppokäyttöinen kokonaisuus. Heinäautomaatin

runkoa ei kuitenkaan opinnäytetyön aikana saatu valmiiksi määräajassa. Tämä johtui rungon valmistukseen valikoituneen yrityksen uuden laitteiston toimituksen viivästyisestä. Yrityksen oli tarkoitus valmistaa runko, heti saatuaan uuden kuitulaserleikkurinsa asennuksen valmiiksi. Laitteen toimitus kuitenkin viivästyi, eikä yritys saanut valmistettua runkoa tästä syystä määräajassa. Projektin kustannustehokkuus kuitenkin pystyttiin varmistamaan, jonka seurauksena automaatteja tullaan rakentamaan kahdeksan kappaletta lisää.

8.2 Laitteiston kehittäminen

Tulevaisuudessa valmistettavien automaattien ja etäohjausyksiköiden lisäksi on myös tarkoituksena tehdä puhelinsovellus, jolla automaatin ohjaaminen olisi mahdollista langattoman lähiverkon välityksellä. Ihanteellista kuitenkin olisi, jos automaatin ohjaus pystyttäisiin toteuttamaan internetverkon välityksellä. Ratkaisu kuitenkin vaatisi sovelluskerroksen lisäämisen TCP/IP-pinoon. Sovelluskerros sisältäisi TLS-salausprotokollan, joka suojaa TCP/IP-pinon kuljetuskerroksen. Ratkaisu kuitenkin vaatisi laajempaa opiskelua verkkoturvallisuuden ja salauksien parissa, joten laitteiston liittäminen internetiin on hyvin epätodennäköistä. Opinnäytetyöprojektin aikana kehittyi myös suunnitelmia lisättävistä ominaisuuksista, joiden kehitystyö alkaa heti kun ensimmäinen heinäautomaatti saadaan täysin valmiiksi. Järjestelmää ja ohjelmistoa tullaan jatkuvasti myös parantelemaan ja suunnittelemaan laitteistolle lisää uusia lisäominaisuuksia.

Lähteet

- 1 Aurajoki. Suomen nopein kuumasinkitys.
Verkkoaineisto. https://www.aurajoki.fi/palvelut/kuumasinkitys/?gclid=Cj0KCQjwsqmEBhDiARIsANV8H3YoNs85kFzApgPt2Trws96g2MTeSyyRDYgQmOi22wxqVxbLuZv78aApvsEALw_wcB#more. Luettu 28.3.2021.
- 2 Metos. 2017. Ruostumaton teräs materiaalina.
Verkkoaineisto. <https://www.metos.fi/news/neuvokit/ruostumaton-teras-materiaalina/>. Luettu 15.3.2021.
- 3 Node-RED. About.
Verkkoaineisto. <https://nodered.org/about/>. Luettu 2.4.2021.
- 4 Raspberry Pi. ACCESS-POINT-ROUTED.
Verkkoaineisto. <https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/wireless/access-point-routed.md>. Luettu 9.12.2020.
- 5 Raspberry Pi. Installing operating system images using Windows. Verkkoaineisto.
<https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/installing-images/windows.md>. Luettu 25.11.2020.
- 6 SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS: SFS 6000-7-705:2017: sivu 8.
- 7 Raspberry Pi. Software. Verkkoaineisto.
<https://www.raspberrypi.org/software/>. Luettu 17.12.2021.
- 8 The HiveMQ Team.2019. MQTT Essentials.
Verkkoaineisto. <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-3-client-broker-connection-establishment/>. Luettu 20.5.2021.
- 9 VTM. Jauhemaalauk, Pulverimaalaus, Polttomaalaus.
Verkkoaineisto. <https://vtm.fi/pintakasittely/jauhemaalauk-pulverimaalaus/>. Luettu 25.5.2021.