



Ville Hirvonen

Automatisoitu jauheannostelija

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

10.9.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Ville Hirvonen
Otsikko:	Automatisoitu jauheannostelija
Sivumäärä:	60 sivua + 2 liitettä
Aika:	10.9.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Kristian Junno

Tämän projektin tavoitteena oli kehittää toimiva prototyyppi automatisoidusta jauheannostelijasta, jolla olisi mahdollista automatisoida osa asiakasyrityksen valmistaman akustiikkapinnoitteen tuotantoprosessista. Insinööriyössä kuvaillaan käytännönläheisen projektin toteutusta keskittyen ohjelmoitavaan logiikkaan sekä Modbus-yhteyden toteuttamiseen. Työ tehtiin osana Big-Flash-hanketta, ja se on jatkoa keväällä 2022 valmistuneelle konseptitason mallille.

Prototyypissä hyödynnettiin jauheen annosteluun ohjelmoitavalla logiikalla ohjattavia ruuvisyöttöjä, joiden nopeutta säädeltiin pulssinleveysmodulaation avulla. Jauheen punnitukseen käytetyn kuormitusanturin ja logiikkaohjaimen välinen kommunikaatio toteutettiin Modbus-yhteydellä.

Insinööriyön tuloksena saatiin kehitettyä jauheannostelijasta prototyyppi, jonka suorittama automatisoitu jauheen annosteluprosessi osoittautui kuitenkin hitaaksi eikä soveltunut kaikille tuotantoprosessissa käytettäville valmistusaineille. Laitteella pitäisi esiin tulleiden ongelmien korjauksen jälkeen olla mahdollista automatisoida osa akustiikkamassan valmistusprosessista.

Avainsanat: PLC, TIA-portal, ruuvisyöttö, Modbus, kuormitusanturi, pulssinleveysmodulaatio, Big-Flash

Abstract

Author: Ville Hirvonen
Title: Automated Powder Dispenser
Number of Pages: 60 pages + 2 appendices
Date: 10 September 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Automation Engineering
Supervisors: Kristian Junno, Senior Lecturer

The goal of this project was to develop a working prototype of an automated powder dispenser, which could be utilized to automate part of the production process of the acoustic coating produced by the client company. The thesis describes the implementation of this project, focusing on programmable logic and the implementation of Modbus connection. The work was done as part of the Big-Flash project and is a continuation of the Proof of Concept produced in spring 2022.

The prototype used PLC-controlled screw feeders for dosing the powder. Pulse width modulation was used to control the speed of screw feeders. The communication between the logic controller and the load cell used for weighing the powder was implemented with a Modbus connection.

As a result of the thesis work, a prototype of the powder dispenser was developed, but the automatic powder dispensing process performed by it was slow and not suitable for all ingredients used in the production process. After fixing the problems, the device could be used to automate part of the production process of the acoustic coating.

Keywords: PLC, TIA-portal, screw feeder, Modbus, load cell, PWM, Big-Flash

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lumir Oy	1
3	Lähtötilanne	3
4	Projektin tavoitteet	4
5	Modbus ja pulssinleveysmodulaatio	5
5.1	Modbus	5
5.1.1	Modbus RTU	7
5.1.2	Modbus TCP/IP	8
5.2	Pulssinleveysmodulaatio	9
6	Automatisoitu jauheannostelija	11
6.1	Ohjelmitava logiikka	12
6.2	Logiikkaohjelma	13
6.2.1	Main OB1	13
6.2.2	Verkosto 1: Reseptin valinta	14
6.2.3	Verkosto 2: Reseptin käsittely	15
6.2.4	Modbus-asetukset	19
6.2.5	PWM-asetukset	22
6.2.6	6ES7232-4HA30-0XB0-laajennusmoduuli	23
6.3	Ruuvisyötöt	26
6.4	Jauheen punnitus	30
6.5	Moxa MB3180 -Modbus-yhdyskäytävä	36
6.6	L298N-moottorinohjauskortti	42
6.7	Laitteen kokoaminen	45
6.7.1	Putkisto	45
6.7.2	Tärinämoottorit	47
6.7.3	Sähköasennukset ja -kotelot	49
6.8	Laitteen testaus	53
7	Yhteenveto	54

Liitteet

Liite 1. Sähkökuva 1

Liite 2. Sähkökuva 2

Lyhenteet

AC:	<i>Alternating Current.</i> Vaihtovirta.
DC:	<i>Direct Current.</i> Tasavirtasähkö.
DCS:	<i>Distributed Control System.</i> Hajautettu ohjausjärjestelmä.
DHCP:	<i>Dynamic Host Configuration Protocol.</i> Lähiverkkoon kytkeytyvälle laitteelle IP-osoitteen määrittävä verkkoprotokolla.
GND:	<i>Ground.</i> Maa, maapotentiaali.
HMI:	<i>Human-Machine-Interface.</i> Ihmisen ja laitteen välinen rajapinta.
I/O:	<i>Input / Output.</i> Tulo- ja lähtöportti.
led:	<i>Light Emitting Diode.</i> Valodiodi.
NDA:	<i>Non-Disclosure Agreement.</i> Salassapitosopimus.
PDU:	<i>Protocol Data Unit.</i> Tiedonsiirtopaketti.
PLC:	<i>Programmable Logic Controller.</i> Ohjelmoitava logiikkaohjain.
POC:	<i>Proof of Concept.</i> Konseptitodistus.
PWM:	<i>Pulse width modulation.</i> Pulssinleveysmodulaatio.
RTU:	<i>Remote Terminal Unit.</i> Etäpääteyksikkö.
TCP:	<i>Transmission Control Protocol.</i> Tietoliikenneprotokolla, joka mahdollistaa luotettavan tiedonsiirron tietokoneiden välillä.
Vcc:	<i>Voltage Common Collector.</i> Laitteen positiivinen käyttöjännite.

1 Johdanto

Tämän projektin tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa Lumir Oy:lle prototyyppi automatisoidusta jauheannostelijasta, jonka avulla voitaisiin automatisoida osa yrityksen tuottaman akustiikkamassan valmistamiseen liittyvästä tuotantoprosessista. Samalla mahdollistettaisiin myös parempi laadunvalvonta, tuotannon tasainen laatu sekä mahdollinen tuotannon laajentaminen.

Tavoitteena oli kehittää automatisoidusta jauheannostelijasta toimiva prototyyppi, jolla voisi valmistaa vähintään koe-eriä valmista akustiikkamassaa. Projektissa keskityttiin erityisesti jauhemaisten valmistusaineiden annostelun automatisointiin.

Laitteen kehitys toteutettiin Metropolian Robo Garage -työtilassa osana Big-Flash-hankkeen Salama-vaihetta, ja se on jatkoa keväällä 2022 valmistuneelle Suvituuli-vaiheen projektille. Big-Flash on Vantaan kaupungin ja Metropolia-ammattikorkeakoulun yhteishanke, jonka tavoitteena on kehittää asiakasyritysten toimintaa uusien teknologioiden kautta. Suvituuli- ja Salama-vaiheilla tarkoitetaan hankkeen sisäisiä projektimalleja, jotka kuvaavat eri vaiheissa olevia projekteja. [1.]

Tässä insinööriyössä kuvaillaan automatisoidun jauheannostelijan suunnittelu- ja kehitysprosessia. Työ on jaettu kahteen osaan, joista ensimmäisessä käsitellään yleisesti projektissa käytettyä teknologiaa. Toinen osio keskittyy projektin käytännön osuuteen.

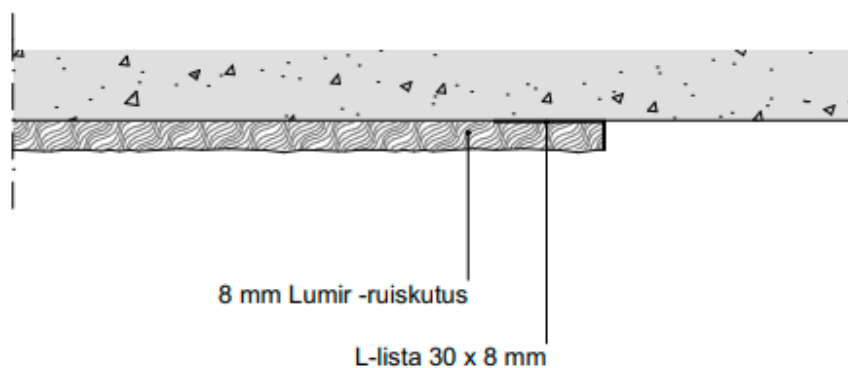
2 Lumir Oy

Lumir Oy on suomalainen yritys, joka kehittää kotimaisiin biokuituihin perustuvia hiilinegatiivisia akustiikkaratkaisuja. Yksi yrityksen valmistamista tuotteista on seinä- ja kattopinnoille levitettävä akustiikkamassa. [2.]

Akustiikkapinnoite

Lumir Oy:n kehittämä akustiikkapinnoite perustuu kotimaiseen puupohjaiseen biokuituun. Akustiikkapinnoite syntyy massasta, joka voidaan ruiskuttaa akustian parantamiseksi suoraan koville pinnoille tai vaihtoehtoisesti Lumirin valmistamille lasivilla- ja reikäkipsilevyille. Lumir Comfort -pinnoite jättää pinnalle saumattoman, ruiskurappausta muistuttavan pinnan. Lumir Spray -viimeistelyllä pinnasta saadaan lähes sileä. [3.]

Kuvassa 1 on esitetty esimerkki akustiikkapinnoitteesta ruiskutettuna suoraan kovalle pinnalle. Massaa ruiskutetaan pinnalle noin 6–8 millimetrin paksuinen kerros. Pinnoite on kuivuttuaan rakenteeltaan huokoinen ja absorboi ääntä. [3.]



Kuva 1. Akustiikkapinnoite ruiskutettuna kovalle pinnalle [4].

Akustiikkamassa koostuu biokuidun lisäksi vedestä ja erilaisista jauhemuotoisista valmistusaineista. Valmistusaineet sisältävät esimerkiksi palonestävää liima-ainetta sekä nestettä imevää täyttöainetta. Akustiikkamassan reseptiä koskien laadittiin NDA (salassapitosopimus), mistä syystä näitä valmistusaineita ei käsitellä tässä insinööriyössä tarkemmin. Näiden aineiden lisäksi massaan on mahdollista lisätä väriaineita sen sävyttämiseksi. [3; 5, s. 4.]

Akustiikkamassan valmistus on prosessi, jossa työntekijä punnitsee ja lisää kaikki pinnoitemassan valmistusaineet manuaalisesti kuvassa 2 näkyvään, pyörillä liikkuvaan sekoitussaaviin valmistusprosessin aikana.

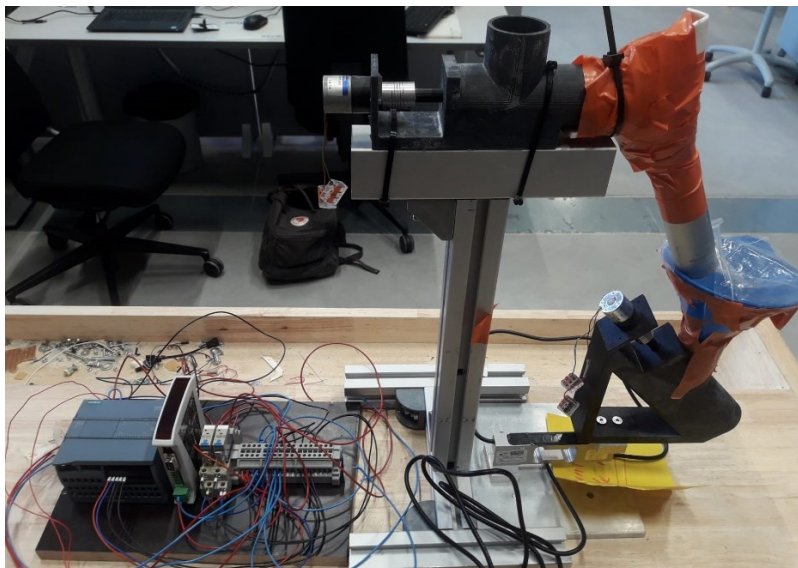


Kuva 2. Akustiikkamassan sekoituslaite.

Saavi asetetaan sekoituslaitteen alle ja karamoottorilla toimiva sekoituskaira käännetään sekoittamaan massaa. Sekoituslaitteeseen on asennettu turvakehikko työturvallisuuden parantamiseksi.

3 Lähtötilanne

Projekti aloitettiin keväällä 2022 osana Big-Flash-hankkeen Suvituuli-vaihetta, jossa oli tavoitteena tuottaa yritykselle soveltuvuus selvitys tai demo. Laitteesta saatiin kevään aikana valmistettua kuvassa 3 näkyvä POC-tason (Proof of concept) malli, jota lähdetäisiin kehittämään eteenpäin Salama-vaiheessa, jossa tavoitteena on tuottaa laitteesta prototyyppi.



Kuva 3. POC-tason malli automatisoidusta jauheannostelijasta.

Valmistuneessa konseptimallissa hyödynnettiin PLC-logiikalla ohjattavia 3d-tu-
lostettuja ruuvisyöttöjä, joita pyöritettiin DC-moottoreilla. Mallissa käytettiin myös
asiakkaan toimittamaa venymäliuska-anturia ja siihen liitettyä digitaalista Penko
SGM 750 -vaakavahvistinta, jonka sisäänrakennettua input/output-systeemiä
käytettiin ruuvisyöttöjen ohjauksessa.

Akustiikkamassan valmistukseen käytettävää jauhetta pystyttiin syöttämään ku-
vassa 3 näkyvän alumiiniprofiilin päälle sijoitetun ruuvisyötön kautta alumiinista
putkea pitkin venymäliuska-anturin päälle asennetulle ruuvisyötölle, johon oli
kiinnitetty suppilo. Kun anturi havaitsi suppilossa olevan ennalta määrätyn pai-
non verran jauhetta, vaakavahvistin lähetti logiikkaohjaimelle signaalin, jolla py-
säytettiin ensimmäinen ruuvisyöttö. Tämän jälkeen anturin päälle asennettu ruu-
visyöttö kytkeytyi päälle syöttäen jauheen eteenpäin kuviteltuun sekoitusasti-
aan.

4 Projektin tavoitteet

Keväällä valmistuneen konseptimallin pohjalta laitteesta lähdettiin kehittämään
toimivaa prototyyppiä, jolla olisi mahdollista valmistaa vähintään koe-eriä val-
mista ja tasalaatuista akustiikkamassaa. Tärkeimpinä kehityskohteina olivat

digitaalisen vaakavahvistimen ja logiikkaohjaimen välinen kommunikaatio Modbus RTU -tiedonsiirtoprotokollan välityksellä sekä useamman jauhemaisen valmistusaineen syötön mahdollistaminen.

Projektissa keskityttiin erityisesti jauhemaisten valmistusaineiden punnitsemisen ja syötön automatisointiin. Projektin edetessä myös nestemäisten valmistusaineiden syötön automatisointia virtausmittarin avulla selviteltiin, mutta tämä osoittautui lopulta liian kalliiksi ottaen huomioon, että kyseessä on prototyypin projekti. Projektin aikana tehtiin kuitenkin selvitys komponenteista, joilla nestemäisten valmistusaineiden annostelu voitaisiin toteuttaa, jos projektia halutaan prototyyppiasteen jälkeen lähteä viemään eteenpäin.

Jauhemaisten valmistusaineiden lisäksi akustiikkamassan valmistuksessa käytettävien biokuitupohjaisen valmistusaineen sekä väriaineiden lisääminen massaan päätettiin toistaiseksi jättää manuaaliseksi prosessiksi.

5 Modbus ja pulssinleveysmodulaatio

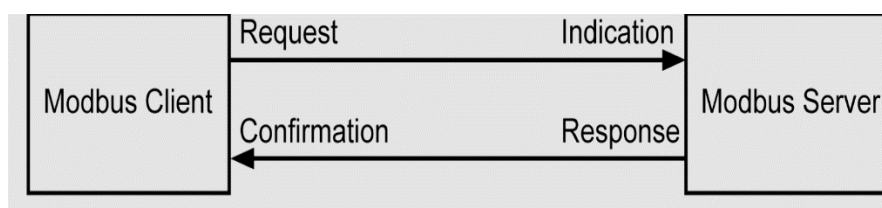
Tässä osiossa käydään läpi projektissa käytettyä teknologiaa teoriatasolla. Koska työ oli erittäin käytännönläheinen, osiossa keskitytään käsittelemään insinööriyön tekijän päävastuualueisiin kuuluneita Modbus-protokollaa sekä pulssinleveysmodulaatiota (PWM).

5.1 Modbus

Modbus on Modiconin vuonna 1979 kehittämä sarjaprotokolla, jota käytetään laitteiden ja järjestelmien välisen kommunikaation hallintaan. Modbus kehitettiin teollisuusautomaatiojärjestelmien sekä Modiconin ohjelmoitavien logiikoiden ohjausta varten, ja siitä on sittemmin tullut teollisuusalan standardimenetelmä eri teollisuusautomaation sovelluksissa, kuten prosessi- ja valvontajärjestelmissä. [6, s. 3.] Monet teollisuuslaitteet, kuten PLC:t, hajautetut ohjausjärjestelmät

(DCS), käyttöliittymät, instrumentit ja anturit käyttävät Modbusia tiedonsiirto-standardinaan.

Modbus-laitteiden välinen kommunikointi perustuu kuvan 4 malliseen asiakas-palvelin-arkkitehtuuriin, jossa vain asiakaslaite voi aloittaa tapahtuman lähettämällä pyynnön yhdelle tai useammalle palvelinlaitteelle, joilla on jokaisella yksilöllinen osoite. Palvelinlaitteet vastaavat tähän pyyntöön toimittamalla pyydetty tiedot tai ryhtymällä pyynnössä määritettyihin toimenpiteisiin. [6, s. 3.] Modbusin käyttämästä arkkitehtuurimallista on aikaisemmin käytetty nimitystä isäntä-orja-arkkitehtuuri (master/slave), mutta tämä on nykyään korvattu termillä asiakas-palvelinmalli (client/server), jossa asiakas on pyyntöjä lähettävä asiakaslaite ja server on näihin pyyntöihin vastaava palvelinlaite. [7.] Tässä insinööriyössä Modbus-protokollan arkkitehtuurimallista käytetään jatkossa termiä asiakas/palvelin.



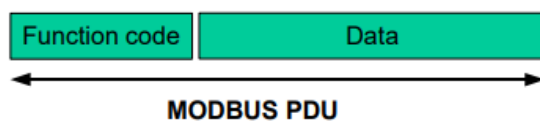
Kuva 4. Modbus-protokollan asiakas/palvelin-arkkitehtuurimalli [8].

Asiakaslaitteen lähettämä pyyntö koostuu palvelinlaitteen osoitteesta tai yleisestä lähetysosoitteesta, jos pyyntö lähetetään useammalle palvelinlaitteelle, tarvittavasta tiedosta, pyydetyn toiminnon määrittävästä funktiokoodista sekä virheentarkistus kentästä. Palvelinlaitteen vastaus koostuu pyynnön vahvistavasta kentästä, palautettavasta tiedosta sekä virheentarkistus kentästä. Jos pyynnön käsittelyssä tapahtuu virhe, palvelinlaite palauttaa vastauksena virheviestin. [6, s. 3.]

Alun perin Modbus kehitettiin toteutettavaksi sarjaliikenneyhteyden eli RS-232/RS-485-linkin kautta. Tätä kommunikaatioprotokollaa kutsutaan Modbus RTU:ksi. Myöhemmin protokolla mukautettiin käytettäväksi myös Ethernet-yhteyden perustuvan TCP/IP-protokollan yli. Tätä mallia kutsutaan yleisesti

Modbus TCP:ksi. Näiden lisäksi käytössä on myös tekstipohjainen Modbus ASCII -protokolla. [8.]

Modbus-protokollan käsittelemä data muodostuu kommunikoivien laitteiden välillä siirrettävistä, maksimissaan 253 bitin kokoisista tiedonsiirtopaketeista (PDU). Tiedonsiirtopaketteja käytetään lähettämään käskyjä ja vastaanottamaan vastauksia Modbus-laitteiden välillä. Kuvassa 5 on esitetty Modbus PDU:n yleinen muoto, joka sisältää yhden bitin pituisen funktiokoodin sekä siihen liittyvän datan, joka voi olla kooltaan enintään 252 bittiä. [8.]



Kuva 5. Modbus PDU:n rakenne [9, s. 8].

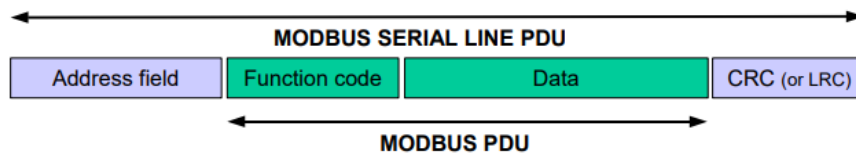
Erimuotoiset Modbus-tiedonsiirtopaketit määrittävät erilaisia tietoja, kuten lukemiset, kirjoitukset ja vikatiedot. Jokainen tiedonsiirtopaketti kuitenkin sisältää otsikkotiedot, joiden avulla vastaanottaja osaa tunnistaa paketin sisällön ja käsitellä sen sisältämän datan. [8.]

Modbus-funktiot ovat toimintokoodeja, joita asiakaslaite käyttää lähettäessään pyynnön palvelimelle. Käytettävissä olevat tiedot tallennetaan yleensä yhteen laitteen tietopankista tai osoitealueesta: erilliset tulot (Discrete inputs), kelat eli lähöt (Coils), tulorekisterit (Input registers) ja pitorekisterit (Holding registers). Nämä tietopankit määrittelevät sisältämiensä tietojen tyyppin ja käyttöoikeudet. [8.]

5.1.1 Modbus RTU

Modbus RTU (Remote Terminal Unit) on Modbus-protokollan versio, joka toimii RS-485-, RS-232- tai muiden sarjaliikenneliitännöjen kautta. Modbus RTU on binääriprotokolla, mikä tarkoittaa, että kaikki tiedot esitetään binäärimuodossa.

Modbus RTU -protokolla siirtää dataa kuvan 6 mukaisissa ”kapseleissa”, jotka lisätään tiedonsiirtopaketin ympärille.

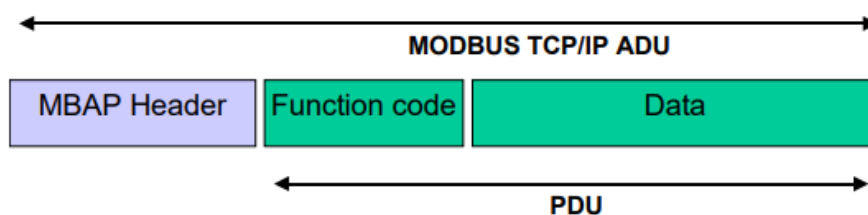


Kuva 6. Modbus RTU -kehys [9].

Kapseli koostuu osoitekentästä (Address field), joka sisältää palvelinlaitteen osoitteen sekä virheentarkistus kentästä (CRC), jota käytetään lähetysvirheiden havaitsemiseen. [9, s. 8.]

5.1.2 Modbus TCP/IP

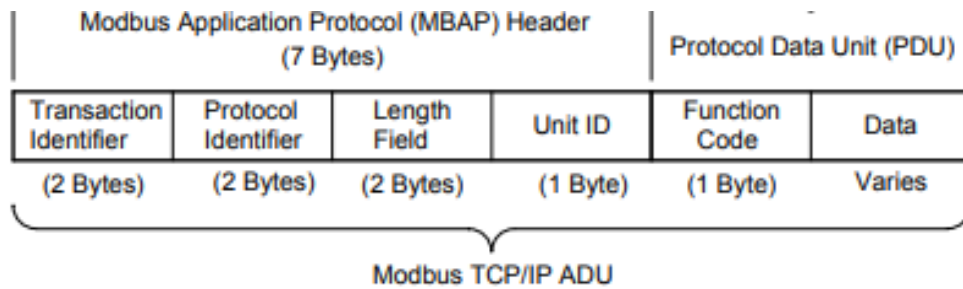
Modbus TCP/IP on Ethernet-verkkoa tiedonsiirtoon käyttävä Modbus-protokollan variaatio, joka mahdollistaa tiedonsiirron laitteiden välillä binäärimuodossa [6, s. 4]. Modbus TCP/IP -yhteyden yli lähetettävä Modbus-tiedonsiirtopaketti kapseloidaan kuvan 7 mukaiseen TCP/IP-pakettiin, joka mahdollistaa tietojen siirron Ethernet-verkon yli. TCP/IP-kapseli lisää Modbus-tiedonsiirtopakettiin MBAP-otsikon. [10, s. 4.]



Kuva 7. Modbus TCP/IP-kehys [10].

MBAP-otsikko (Modbus Application Protocol Header) on Modbus TCP/IP -protokollan osa, joka kapseloi Modbus PDU:n TCP/IP-pakettiin. Kuvassa 8 esitetty MBAP-otsikko sisältää tarvittavat tiedot Modbus-tiedonsiirtopaketin tunnistamiseen ja käsittelemiseen vastaanottavassa laitteessa. Transaction Identifier on yksilöllinen numero, joka tunnistaa tietyn Modbus-paketin. Kun vastaanottava

laite vastaanottaa paketin, se käyttää Transaction Identifieria vastaamaan tähän pakettiin. Protocol Identifier määrittää Modbus-protokollan versionumeron. Length määrittää Modbus-paketin pituuden bitteinä (bytes). Unit Identifier tunnistaa Modbus-laitteen, jota paketti koskee. Tämän kentän arvoksi on usein asetettu 1, joka tarkoittaa lähetystä kaikille palvelimille. [6, s. 5.]

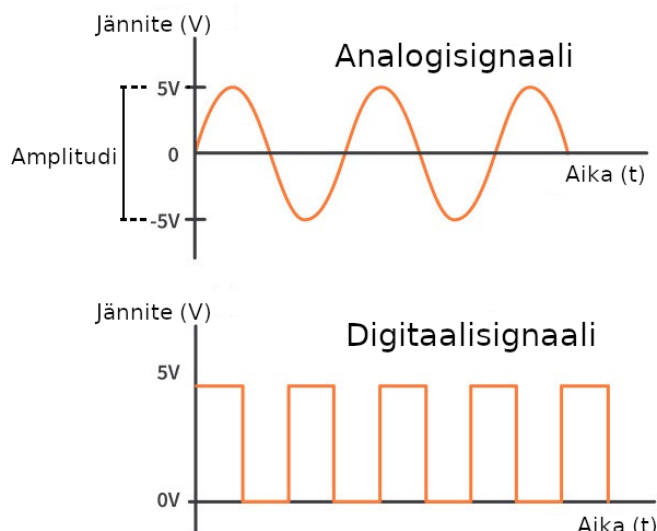


Kuva 8. MBAP-otsikko [6, s. 4].

Modbus TCP/IP:ssä jokainen Modbus-laite tarvitsee IP-osoitteen, joka korvaa Modbus RTU:n käyttämät baudinopeuden ja pariteettibitin. IP-osoitteen avulla laite voidaan tunnistaa Ethernet-verkossa. Laitteet voivat käyttää Dynaamista IP-protokollaa (DHCP), joka sallii IP-osoitteen automaattisen hankinnan, tai laitteille voidaan antaa staattinen IP-osoite, joka on määritetty manuaalisesti. [6, s. 37.]

5.2 Pulssinleveysmodulaatio

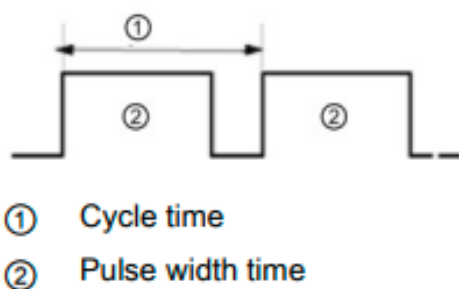
Pulssinleveysmodulaatio eli PWM on tekniikka, joka mahdollistaa analogisen laitteen ohjaamisen digitaalisella signaalilla. Digitaalisen signaalin arvo on aina joko 1 tai 0, eli se on aina joko päällä tai pois päältä. Analoginen signaali voi saada äärettömän määrän arvoja amplitudinsa sisältä. [11.] Kuvassa 9 on esitetty analogisen ja digitaalisen signaalin ero käyttämällä esimerkkinä 5 VDC:n jännitelähdettä.



Kuva 9. Analogi- ja digitaalisignaalin ero [11]. Kuvaa muokattu.

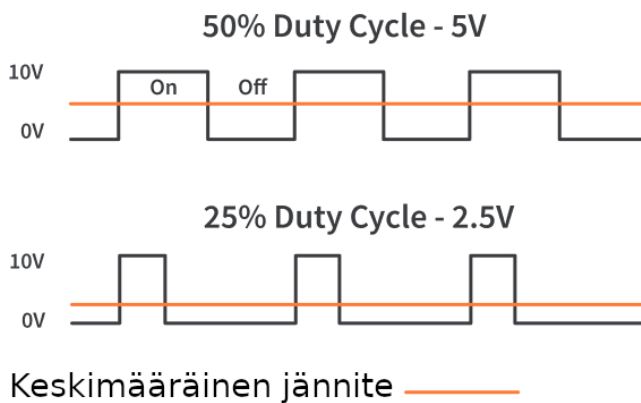
Pulssinleveysmodulaation avulla analogiseen laitteeseen lähetettävän digitaalisen jännite- tai virtasignaalin tasoa voidaan ohjata toistuvien pulssisarjojen kautta siten, että signaali vastaa analogisignaalin kaltaista signaalia. PWM-signaali on kuitenkin yhä digitaalinen, koska digitaalinen lähtö on aina joko päällä tai pois päältä. Pulssinleveysmodulaatiota käytetään yleisesti moottoreiden nopeuden ohjaukseen tai esimerkiksi led-valojen kirkkauden säätämiseen. [12.]

Pulssinleveysmodulaatio perustuu digitaalisen signaalin pulssinleveyden muuntamiseen. Digitaalisen lähdön kautta luodaan kuvan 10 mukainen kanttiaalto, jonka käyttöjaksoa (duty cycle) moduloimalla voidaan jäljitellä halutun analogisen signaalin tasoa. Käyttöjakso kuvaa prosenttiosuutta ajasta, jonka digitaalinen signaali on päällä yhden lähetetyn pulssin, eli jaksonajan (cycle time) aikana. [12.] Tämä jaksonaika on käänteinen kanttiaallon taajuudelle [11].



Kuva 10. Pulssinleveysmodulaatiolla luotu kanttiaalto [13, s. 121].

Kuvassa 11 on esitetty kaksi signaalia, joiden jännite on enintään 10 V. Molemmilla signaaleilla on erisuuruiset käyttöjaksot, minkä seurauksena niiden tuottama keskimääräinen jännite eroaa toisistaan.



Kuva 11. Pulssinleveysmodulaation käyttöjakso [11]. Kuvaa muokattu.

Ylemmän signaalin jaksonaika on yksi sekunti ja pulssinleveys on 0,5 sekuntia, jolloin signaalilla on 50 %:n käyttöjakso ja se tuottaa 5 V:n keskimääräisen jännitteen. Alemmalla signaalilla on 25 %:n käyttöjakso, ja sen tuottama keskimääräinen jännite on 2,5 V.

Käyttöjakson lisäksi PWM-signaalin käyttäytymisen määrittävät signaalin taajuus, eli kuinka monta kertaa signaali toistuu käytetyssä aikayksikössä [11], sekä resoluutio, joka määrittää käytettävissä olevien käyttöjaksojen määrän tietulle ajanjaksolle [14].

6 Automatisoitu jauheannostelija

Laitteen kehitys aloitettiin logiikkaohjelman kirjoittamisella. Logiikkaohjelmaa lähdettiin kehittämään jo konseptivaiheessa käytetyn digitaalisen vaakavahvistimen sisäänrakennetun I/O-systeemin pohjalta. Releen kautta ohjattava ensimmäinen ruuvisyöttö käynnistyi kytkintä painamalla. Kun vaakavahvistin havaitsi vaa'an päällä olevassa suppilossa ennalta määritetyn painon, se lähetti S7-1200-logiikkaohjaimelle signaalin, joka pysäytti syöttöruuvin. Tämän jälkeen logiikkaohjain kytki digitaalisen lähdön kautta vaa'an päälle asennetun releellä

ohjattavan ruuvisyötön päälle. Vaa'an päällä oleva suppilo tyhjeni, ja jauhe syötettiin eteenpäin kuviteltuun sekoitusastiaan.

Tällä ei kuitenkaan päästy akustiikkamassan valmistamisen kannalta riittävään tarkkuuteen. Koska digitaalinen lähtö on aina joko päällä tai pois päältä, ruuvisyötöt pyörivät aina täydellä teholla ja jauhetta ehdittiin syöttää vaa`alle liikaa ennen kuin logiikkaohjain sai signaalin pysäyttää syöttöruuvi. Pulssinleveysmodulaation ja moottorinohjauskorttien avulla ruuvisyöttöjen pyörimisnopeutta voidaan hidastaa sitä mukaa kun vaa`alla oleva paino lähestyy tavoitepainoa. Lisäksi SGM750-vaakavahvistimessa on sisäänrakennettuna vain neljä digitaalista lähtöä, joten ne eivät olisi riittäneet viiden syöttöruuvien ohjaamiseen.

Logiikkaohjaimen ja vaa`an välinen kommunikaatio päätettiin toteuttaa Modbus-yhteyden avulla, mikä mahdollisti datan takaisinsyötön ja lukemisen reaaliajassa. Yhteys suunniteltiin alun perin toteutettavaksi Modbus RTU -protokollalla, sillä S7-1200-logiikkaohjain sekä Penko SGM750 -vaakapääte molemmat tukevat tätä yhteyttä. Yhteyden muodostamiseen vaadittujen Siemensin Modbus-moduulien toimitusajat osoittautuivat kuitenkin todella pitkiksi, joten yhteyden muodostamiseen oli kehitettävä toinen tapa. Lopulta päädyttiin testaamaan Moxa mb3180 -Modbus-yhdyskäytävää, jolla Penko SGM750 -vaakapääteen lähettämä Modbus RTU -muotoinen data olisi muunnettavissa Modbus TCP -muotoon. S7-1200-logiikkaohjaimessa on sisäänrakennettuna Modbus TCP:n vaatima RJ45-portti eli Ethernet-liitäntä.

6.1 Ohjelmoitava logiikka

Projektissa käytettiin logiikkaohjaimena Siemensin Simatic S7 -sarjan logiikkaohjainta. Simatic on Siemensin kehittämä teollisuusautomaatioon tarkoitettujen ohjelmoitavien logiikkaohjainten ja automaatiojärjestelmien sarja. Ensimmäiset S7-sarjan mallit julkaistiin vuonna 1994, ja ne olivat saatavilla kolmessa suorituskyluokassa: S7-200, S7-300 ja S7-400.

1200-sarjan CPU koostuu mikroprosessorista, integroidusta virtalähteestä, sisäänrakennetusta PROFINET-liitännästä sekä analogisista tulopiireistä ja digitaalisista I/O-porteista. Laitteeseen on mahdollista liittää isämoduuleja, joiden avulla on saatavilla esimerkiksi analogisia lähtöpiirejä sekä PROFIBUS- ja RS485- tai RS232-yhteydet. [15.]

S7-1200 mallin ohjelmointia varten käytettiin Windows-pohjaista ohjelmointityökalua, TIA-portalia. Logiikkaohjelman toteutus aloitettiin määrittämällä ohjelman Device configurations -valikosta projektissa logiikkaohjaimena käytettävä CPU 1214C DC/DC/DC.

6.2 Logiikkaohjelma

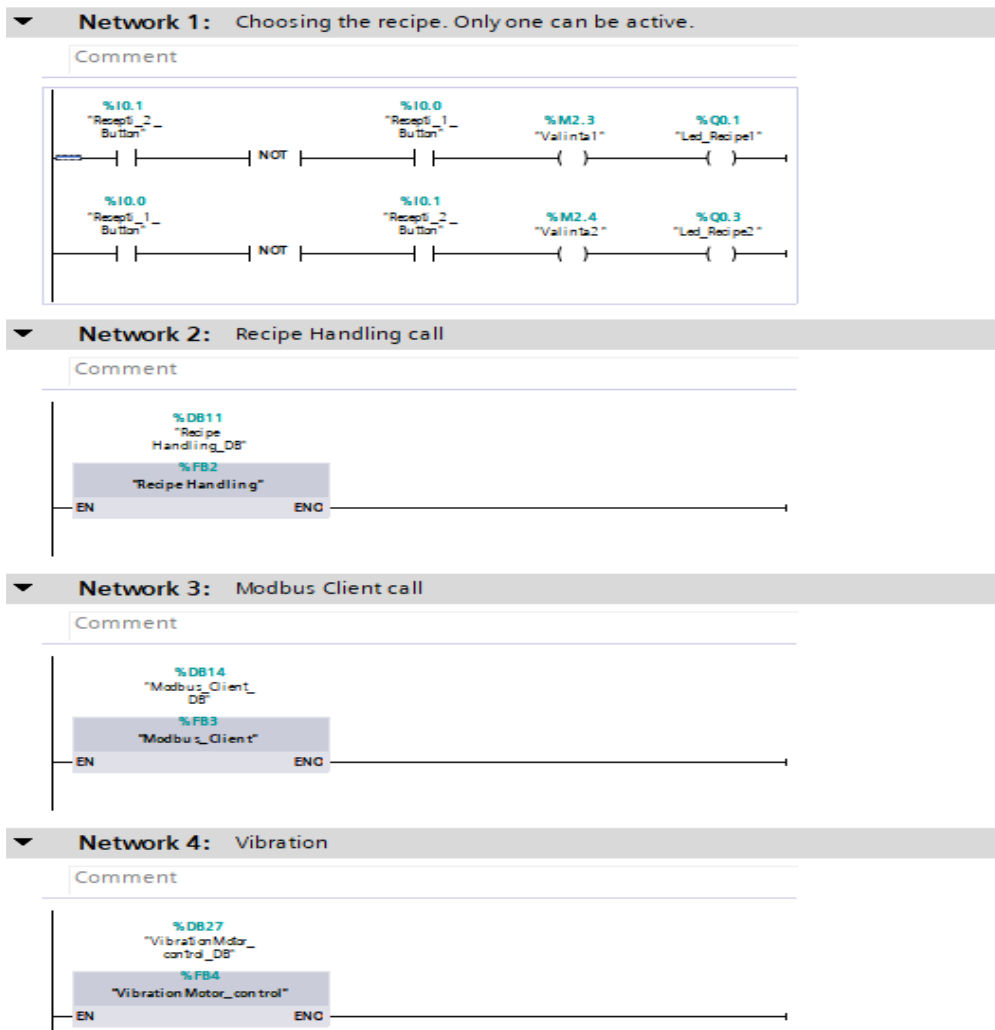
Logiikkaohjelman toteutus alkoi perehtymällä kevään aikana tuotetun konseptimallin logiikkaohjelmaan sekä muihin dokumentteihin. Näiden pohjalta ryhdyttiin kirjoittamaan uutta logiikkaohjelmaa, jolla olisi mahdollista syöttää akustiikkamassan valmistamiseen tarvittavaa jauhetta ruuvisyöttöjen kautta viidestä eri säiliöstä. Tavoitteena oli, että jauheita voitaisiin syöttää tietyssä järjestyksessä, eikä järjestystä olisi mahdollista sekoittaa esimerkiksi painamalla vahingossa väärää nappia. SGM750-vaakavahvistimen ja S7-1200-logiikkaohjaimen väliin kommunikointiin haluttiin hyödyntää Modbus-yhteyttä, sillä se sallisi datan tarkastelun reaaliajassa ja mahdollistaisi jauheen tarkemman annostelun.

PLC-logiikan ohjelmointi toteutettiin Siemensin TIA-portal-ohjelmistolla pääasiassa SCL-ohjelmointikielellä, joka on Siemensin versio yleisemmin tunnetusta ST-ohjelmointikielestä (Structured Text).

6.2.1 Main OB1

Kuvassa 12 esitetty pääohjelma OB1 koostuu neljästä LAD-ohjelmointikielellä ohjelmoidusta verkostosta (network). Verkosto 1 sisältää ohjelman reseptinvalinnalle. Verkosto 2 sisältää kutsun reseptisysteemistä koostuvalle aliohjelmalle.

Verkosto 3 sisältää kutsun Modbus-yhteyden aliohjelmalle. Verkosto 4 sisältää kutsun tärinämoottoreita ohjaavalle aliohjelmalle.



Kuva 12. Main OB1 -organisaatiolohko.

6.2.2 Verkosto 1: Reseptin valinta

Verkosto 1, reseptin valinta, on yksinkertainen ohjelma, joka aktivoi ohjauspaneelistä annetun inputin mukaan joko reseptin 1 tai reseptin 2 samalla deaktivoiden toisen reseptin, jotta molempien ei ole mahdollista olla päällä yhtä aikaa.

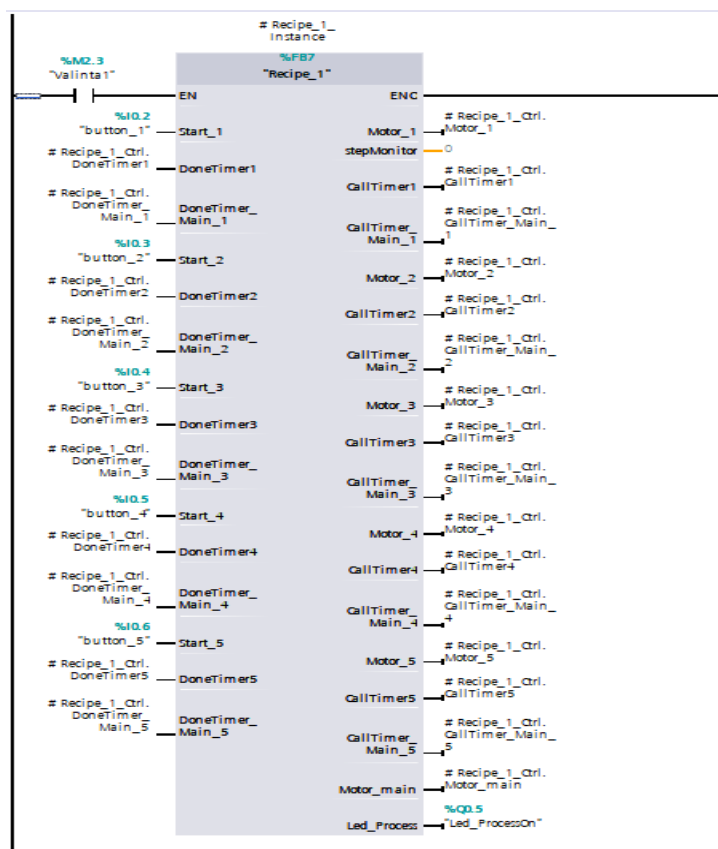
Logiikkaan ohjelmoitiin reseptisysteemi, jonka avulla käyttäjän on ohjauspaneelin kautta mahdollista valita käytettävä resepti kahden eri reseptin väliltä. Projektin aikana tiedossa oli vain yksi resepti, joten toinen reseptipaikka ohjelmoitiin

logiikkaan mahdollisten uusien reseptien varalta. Tästä syystä reseptit 1 ja 2 ovat toiminnaltaan identtisiä, mutta niiden syöttämät ainemäärät voidaan määrittää erikseen.

6.2.3 Verkosto 2: Reseptin käsittely

Verkosto 2 sisältää kolme toimilohkoa: Recipe handling, Recipe_1 ja Recipe_2. Recipe handling -toimilohko koostuu neljästä verkostosta, jotka sisältävät kutsumolempien reseptien aliohjelmille sekä ajastimet, joiden kautta vaa`an päälle asennettu ruuvisyöttö toimii.

Recipe handling -toimilohko vastaa jauheiden annostelusta. Kuvassa 13 on esitetty reseptistä 1 vastaavan Recipe_1-toimilohkon määritellyt tulot sekä lähdöt. Ohjauspaneelin reseptinvalintakytkimen asento 1 aktivoi kuvassa näkyvän sulkeutuvan koskettimen "valinta1", jonka takana toimilohko on.



Kuva 13. Reseptin 1 ohjauksesta vastaava Recipe_1-toimilohko.

Reseptin 2 ohjauksesta vastaava Recipe_2-toimilohko on toiminnaltaan identtinen kuvassa 13 esitetyn Recipe_1-toimilohkon kanssa, mutta toimilohkolle on määritetty omat ajastimet. Ohjauspaneelin reseptinvalintakytkimen asento 2 aktivoi Recipe_2-toimilohkon aktivoivan sulkeutuvan koskettimen ”valinta2”.

Recipe handling -toimilohko koostuu SCL-ohjelmointikielellä kirjoitetusta ohjelmasta. Ohjelma on kirjoitettu Case-rakenteen sisään ja se toimii pitkälti IF...THEN-lauseiden kautta. Rivillä 0001 (kuva 14) määritetyn #stepMonitor-muuttujan avulla on mahdollista seurata ohjelman toimintaa logiikkaohjelmaa simuloitaessa.

Kun käyttäjä painaa ohjauspaneelistä painiketta, nouseva signaali (R_TRIG) käynnistää ensimmäisen ruuvisyötön ja aktivoi ohjauspaneelin keltaisen led-valon, joka ilmaisee käyttäjälle prosessin olevan käynnissä (rivi 0018).

```

0001 #stepMonitor := #step;
0002
0003 CASE #step OF
0004   0:
0005     (*Administration of ingredient 1*)
0006     #Vaihel_Done := FALSE;
0007     IF #Vaihel_Done = FALSE THEN
0008       #R_TRIG_Instance(CLK := #Start_1,
0009         Q => #R_TRIG_Instance.Q);
0010     END_IF;
0011
0012     IF #R_TRIG_Instance.Q THEN
0013       #step := 1;
0014     END_IF;
0015
0016   1:
0017     #Motor_1 := TRUE;
0018     #Led_Process := TRUE;
0019     #step := 2;
0020

```

Kuva 14. Case-rakenne ja Stepmonitor-muuttuja.

Metropolian tiloissa suoritettuna testivaiheen aikana havaittiin, että joidenkin prosessissa käytettävien jauheiden tilavuus oli niin suuri, että syötettävä jauhemäärä ei mahtunut kokonaisuudessaan vaaka-anturin päälle asennettuun suppiloon. Tästä syystä ohjelmaa muokattiin siten, että osa jauheista annostellaan massan sekaan kolmessa osassa. Kuvassa 15 on esitetty, miten logiikka tyhjentää supillon käynnistämällä vaaka-anturin päälle asennettua ruuvisyötön (rivi

0065) ainemäärän ollessa 33,3 % jauheen tavoitemäärästä (rivi 0054). Tämä vaihe toistuu kolme kertaa.

```

0053 6:
0054 IF "Data"."MB TCP Client RX"[0] >= ("Recipe".Recipel.Ainel_massa * 0.3333) THEN (*Mass of ingredient 1 in kilo-
grams [kg]*)
0055     #Motor_1 := FALSE;
0056     IF NOT #Motor_1 THEN
0057         #CallTimer1 := TRUE; (*This could be changed to Static*)
0058     END_IF;
0059 END_IF;
0060
0061 IF #DoneTimer1 THEN (*This could be changed to Static*)
0062     #step := 7;
0063 END_IF;
0064 7:
0065     #Motor_main := TRUE;
0066     #step := 8;
0067

```

Kuva 15. Vaa`an päälle asennetun suppilon tyhjennys.

Kolmessa osassa annosteltavien jauheiden syöttöprosessissa ei logiikkaohjelman tässä versiossa hyödynnetty pulssinleveysmodulaatiota ruuvin pyörimisnopeuden ohjauksessa, sillä näiden jauheiden vaatima annostelutarkkuus saavutettiin ilman sitä. Lisäksi syöttöruuvin pyörimisnopeuden säätö olisi pidentänyt jo testivaiheessa hitaaksi havaittua prosessia entisestään. Pulssinleveysmodulaatiota hyödynnettiin kuitenkin muiden jauheiden syöttöprosessissa, sillä näiden jauheiden vaatima syöttötarkkuus oli suurempi.

Kuvassa 16 on esitetty, miten pulssin käyttöjako muutetaan oletuksena olevasta 10 mikrosekunnista 150 mikrosekuntiin (rivi 0179), kun vaa`an päällä oleva paino on 80 % tavoitepainosta (rivi 0178). Käyttöjakson arvon muuttaminen hidastaa ruuvisyötön pyörimisnopeutta, jolloin jauhetta syötetään hitaammin.

```

0176 20: (*Speed control of screw 3*)
0177
0178 IF "Data"."MB TCP Client RX"[0] >= ("Recipe".Recipel.Aine3_massa * 0.8) THEN (*When weight on the scale is 80%
of ingredient 3 mass*)
0179     "PWM_speedCtrl".PWM_1_spd[2] := 150; (*Put value 100, if the screw should slow down again at 90% *)
0180 END_IF;
0181 (*IF "Data"."MB TCP Client RX"[0] >= ("Recipe".Recipel.Aine3_massa * 0.9) THEN (*When weight on the scale is 90%
of ingredient 3 mass*)
0182     "PWM_speedCtrl".PWM_1_spd[2] := 200;
0183 END_IF;*)
0184 IF "Data"."MB TCP Client RX"[0] >= "Recipe".Recipel.Aine3_massa THEN (*Mass of ingredient 3 in kilograms [kg]*)
0185     #Motor_3 := FALSE;
0186     IF NOT #Motor_3 THEN
0187
0188         #CallTimer3 := TRUE; (*This could be changed to Static*)
0189     END_IF;
0190 END_IF;

```

Kuva 16. Pulssin käyttöjakson muuttaminen.

Kun suppilossa oleva jauhemäärä on saavuttanut asetetun tavoitepainon, jauhetta syöttävä ruuvisyöttö pysähtyy ja kuvassa 17 näkyvä ohjelma käynnistää kahden sekunnin pituisen ajastimen (rivi 0070). Ajastimet ohjelmoitiin logiikkaan, jotta käyttäjän olisi mahdollista tarkistaa suppiloon syötetyn jauheen painovaa`an näyttöpäätteestä ja pysäyttää prosessi mahdollisten virheiden sattuessa.

Kun ajastin on kulunut loppuun, vaaka-anturin päälle asennettu ruuvisyöttö pyörii, kunnes vaa`alla oleva jauhemäärä alittaa painon 0,0015 kg (rivi 0069).

```

0068 8:
0069 IF #Motor_main AND "Data"."MB TCP Client RX"[0] < 0.0015 THEN (*Weight on the scale in kilograms [Kg]. If the main
screw stops too early, lower this value.*)
0070 #CallTimer_Main_1 := TRUE;
0071 END_IF;
0072
0073 IF #DoneTimer_Main_1 THEN
0074
0075 #Motor_main := FALSE;
0076 "PWM_speedCtrl".PWM_1_spd[0] := 10;
0077 #step := 9;
0078 #Led_Process := FALSE;
0079 END_IF;
0080

```

Kuva 17. Ruuvisyötön pysäytys.

Jauheiden annostelu tapahtuu viidessä eri vaiheessa, ja pinnoitteen valmistusprosessin kannalta on tärkeää, että jauheet lisätään massan sekaan tietyssä järjestyksessä. Tästä syystä logiikkaohjelma toteutettiin siten, ettei käyttäjän ole mahdollista annostella väärää jauhetta väärään aikaan. Tämä toteutettiin määrittämällä jokaiselle vaiheelle Boolean-muuttuja (DoneTimer_Main), joka on oletuksena FALSE-muodossa. Kun vaihe on suoritettu, muuttuja vaihtuu TRUE-muotoon. Edellisten vaiheiden täytyy olla suoritettu ennen kuin seuraavan vaiheen voi suorittaa. Kuvassa 18 on esimerkki jauheen 5 annostelusta: jauheiden 1–4 annostelun tulee olla suoritettu, jotta käyttäjä voi lisätä jauheen 5.

```

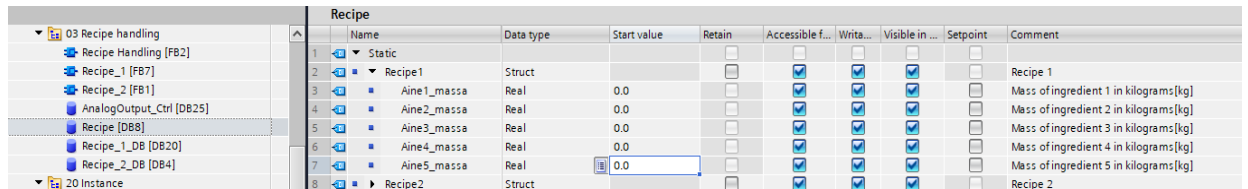
(*Administration of ingredient 5*)

20:
#Vaihe5_Done := FALSE;
IF (#DoneTimer_Main_1 AND #DoneTimer_Main_2 AND #DoneTimer_Main_3 AND #DoneTimer_Main_4) AND NOT #Vaihe5_Done THEN
#R_TRIG_Instance_5(CLK := #Start_5,
Q => #R_TRIG_Instance_5.Q);
END_IF;

```

Kuva 18. Boolean-muuttuja, joka estää jauheiden lisäämisen väärässä järjestyksessä.

Logiikkaohjelmaan luotiin Recipe-niminen datalohko, jossa on määritelty resepteissä 1 ja 2 annosteltavien viiden eri jauheen määrät kilogrammoina. Kuvassa 19 esitettyyn Recipe-datalohkoon luotiin kaksi Struct-muotoista luetteloa, mikä mahdollistaa usean eri datatyyppin tallentamisen samaan luetteloon tehden resepteissä käytettävien ainemäärien määrittämisestä joustavampaa.

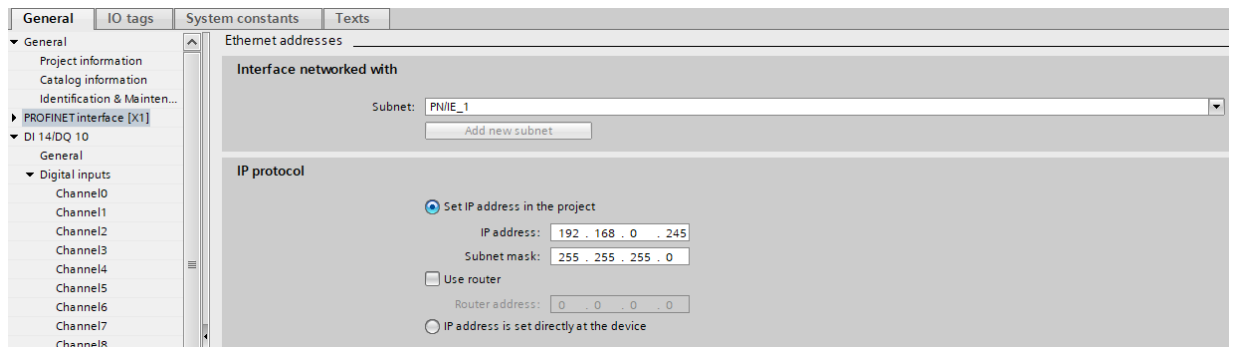


	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static								
2	Recipe 1	Struct			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Recipe 1
3	Aine1_massa	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Mass of ingredient 1 in kilograms[kg]
4	Aine2_massa	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Mass of ingredient 2 in kilograms[kg]
5	Aine3_massa	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Mass of ingredient 3 in kilograms[kg]
6	Aine4_massa	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Mass of ingredient 4 in kilograms[kg]
7	Aine5_massa	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Mass of ingredient 5 in kilograms[kg]
8	Recipe2	Struct			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Recipe 2

Kuva 19. Recipe-datalohko.

6.2.4 Modbus-asetukset

Device configuration -välilehdeltä avattavasta logiikkaohjaimen asetuksista määritettiin kuvassa 20 esitetystä PROFINET interface -kohdasta laitteen IP-osoite, jotta laite olisi samassa verkossa kuin muut laitteeseen yhdistetyt Modbus-laitteet.

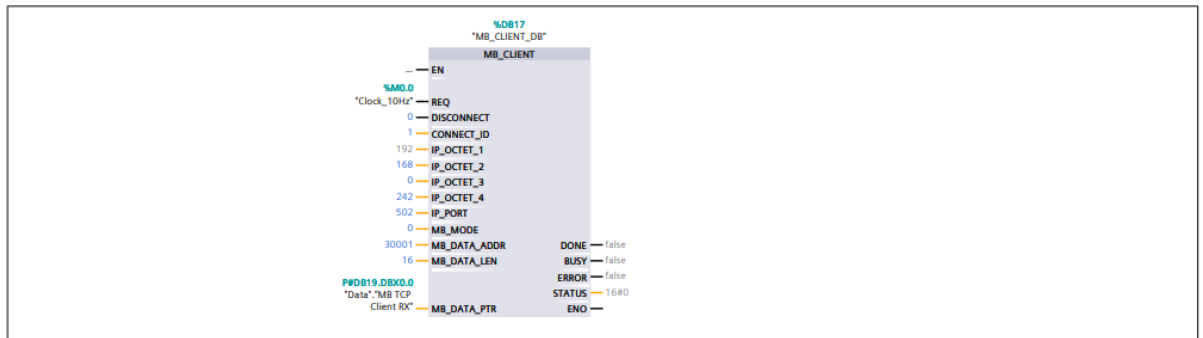


Kuva 20. Modbus-yhteyden IP-asetusten määrittäminen [16].

Modbus-yhteyttä varten ohjelmaan luotiin kuvassa 21 esitetty, TIA-portalin Communications-kirjastosta löytyvä MB_CLIENT-toimilohko, jonka avulla logiikkaohjain voi kommunikoida Client-laitteena Modbus TCP -yhteyden välityksellä laitteeseen yhdistettyjen servereiden kanssa.

Network 1: Configuration of Modbus connection.

Always active, when program is running.



Kuva 21. MB_Client-toimilohko.

Modbus-yhteyttä varten luotiin kuvassa 22 esitetty MB TCP CONF -niminen datalohko, josta MB_CLIENT-komento hakee yhteyden muodostamiseen tarvittavat tiedot. Datalohkon sisältämän datan tyyppiä määritettiin TCON_IP_V4, mikä sisältää vaadittavat parametrit Modbus-yhteyden muodostamiseen.

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static							
2	MB TCP Client RX	TCON_IP_V4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Modbus TCP client block database
3	Interfaceid	HW_ANY	64	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		HW-identifier of IE-interface submodule
4	ID	CONN_OUC	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		connection reference / identifier
5	ConnectionType	Byte	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		type of connection: 11=TCP/IP, 19=UDP (17=TCP)
6	ActiveEstablished	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		active/passive connection establishment
7	RemoteAddress	IP_V4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		remote IP address (IPv4)
8	ADDR	Array[1..4] of Byte		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IPv4 address
9	ADDR[1]	Byte	192	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IPv4 address
10	ADDR[2]	Byte	168	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IPv4 address
11	ADDR[3]	Byte	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IPv4 address
12	ADDR[4]	Byte	242	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IPv4 address
13	RemotePort	UInt	502	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		remote UDPTCP port number
14	LocalPort	UInt	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		local UDPTCP port number

Kuva 22. MB TCP CONF -datalohko.

Datalohkoon määritettiin käytettävän laitteen Profinet-moduulin tunniste, muodostettavan yhteyden yksilöllinen tunniste, yhteyden tyyppi sekä yhdistettävän laitteen IP-osoite ja portti, jota käytetään yhteyden kuunteluun.

Profinet-moduulin tunnisteena oletuksena käytettävä tunniste 64 (Interfaceid) löytyy kuvassa 23 näkyvästä PLC tags-kansiosta System Constants-välilehdeltä.

	Name	Data type	Value	Comment
1	None	Pip	65535	
2	Automatic update	Pip	0	
3	PIP 1	Pip	1	
4	PIP 2	Pip	2	
5	PIP 3	Pip	3	
6	PIP 4	Pip	4	
7	PIP OB Servo	Pip	32768	
8	Local-MC	Hwv_SubModule	51	
9	Local-Common	Hwv_SubModule	50	
10	Local-Etec	Hwv_SubModule	52	
11	Local	Hwv_SubModule	49	
12	Local-PROFINET_interface_1	Hwv_Interface	54	
13	Local-PROFINET_interface_1-Port_1	Hwv_Interface	65	
14	Local-HSC_1	Hwv_Hsc	257	
15	Local-HSC_2	Hwv_Hsc	258	
16	Local-HSC_3	Hwv_Hsc	259	
17	Local-HSC_4	Hwv_Hsc	260	
18	Local-HSC_5	Hwv_Hsc	261	
19	Local-HSC_6	Hwv_Hsc	262	
20	Local-AL_2_1	Hwv_SubModule	263	
21	Local-DI_14_DO_10_1	Hwv_SubModule	264	
22	Local-Pulse_1	Hwv_Pwm	265	

Kuva 23. Interfaceid-tunniste [16].

Aktiivisen yhteyden muodostamiseksi (ActiveEstablished) määritettiin false, mikä tarkoittaa passiivista yhteyden muodostamista. Tällöin yhteys on jatkuvasti avoin ja logiikka lukee vaakavahvistinta aina laitteen ollessa päällä. Yhdistettävän laitteen IP-osoitteeksi määritettiin tässä tapauksessa Moxan Modbus-yhdyskäytävän IP-osoite ja käytettäväksi portiksi määritettiin 502, jota käytetään oletuksena Modbus-yhteyden kuunteluun.

Modbus-yhteyttä varten luotiin vielä kuvassa 24 esitetty Data-niminen datalohko, joka yhdistettiin MB_Client-toimilohkon MB_DATA_PTR-tuloon.

	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static								
2	MB TCP Client RX	Array[0..15]			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	MB TCP Client RX[0]	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Weight reading from Penko 5GM750 scale
4	MB TCP Client RX[1]	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	MB TCP Client RX[2]	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	MB TCP Client RX[3]	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7	MB TCP Client RX[4]	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
8	MB TCP Client RX[5]	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
9	MB TCP Client RX[6]	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
10	MB TCP Client RX[7]	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
11	MB TCP Client RX[8]	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
12	MB TCP Client RX[9]	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	MB TCP Client RX[1...	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
14	MB TCP Client RX[1...	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
15	MB TCP Client RX[1...	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
16	MB TCP Client RX[1...	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
17	MB TCP Client RX[1...	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
18	MB TCP Client RX[1...	Real	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

Kuva 24. Datalohko, johon MB_Client-toimilohko tallentaa vastaanotettua dataa.

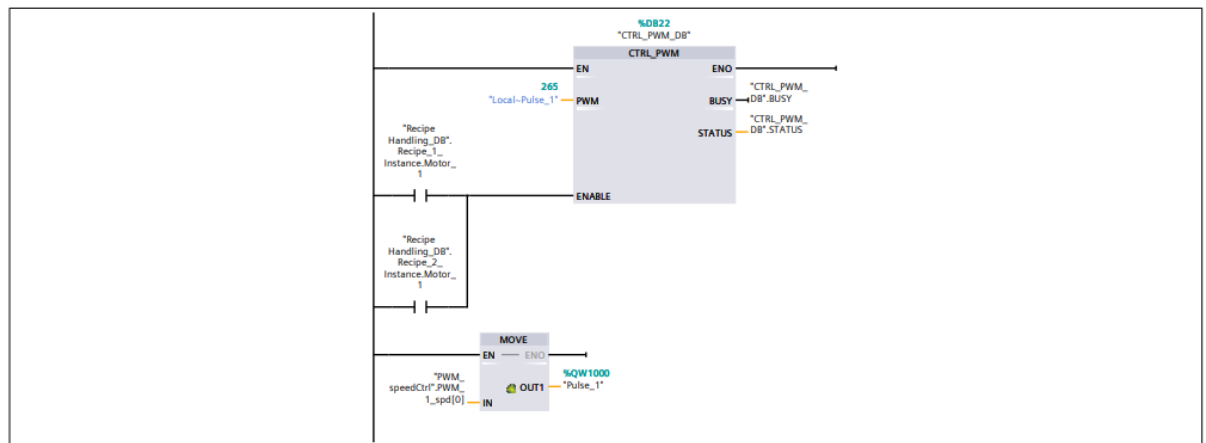
Datalohkoon luotiin Real-muotoinen luettelo (Array), johon logiikka tallentaa Modbus-yhteyden kautta luettua dataa.

6.2.5 PWM-asetukset

Pulssinleveysmodulaatiota varten logiikkaohjelmaan luotiin Cyclic interrupt -organisaatiolohko, jonka sisään ruuvisyöttöjen nopeuden ohjauksesta vastaavat toimilohkot sijoitettiin. Organisaatiolohkon sisään luotiin viisi verkostoa: neljä kuvaa 25 vastaavaa verkostoa pulssinleveysmodulaatiota varten ja yksi analogisen lähdön kautta ohjattavaa ruuvisyöttöä varten.

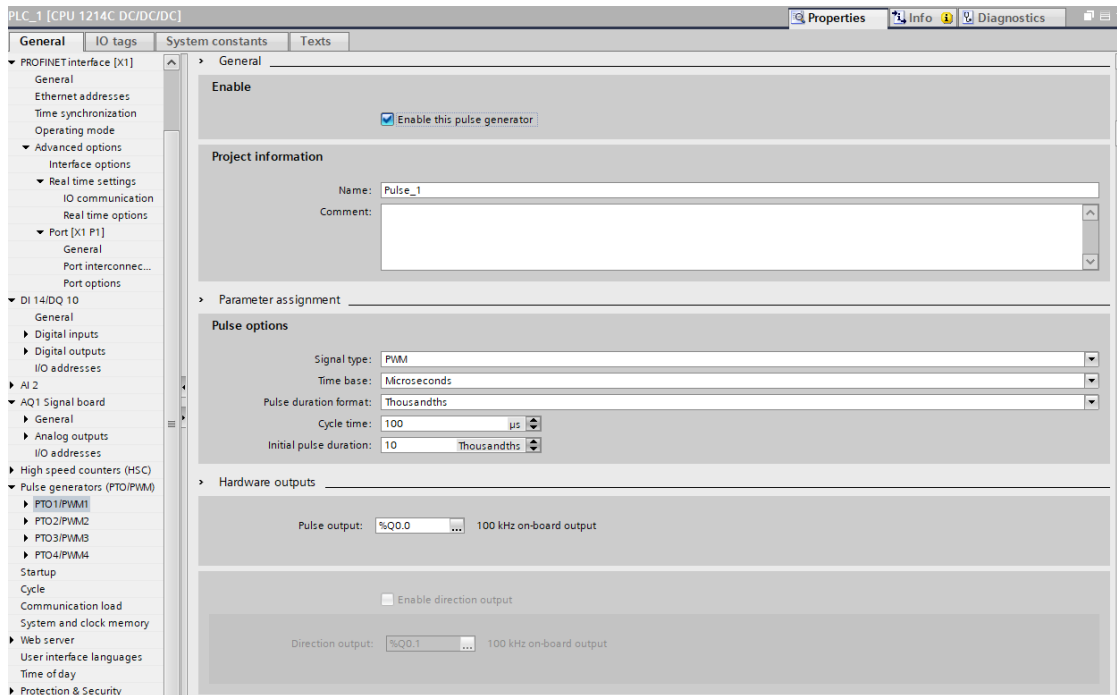
PWM toteutettiin TIA-portalin Extended instructions -kirjastosta vakiona löytyvällä CTRL_PWM-toimilohkolla. Kuvassa 25 näkyvä MOVE-toimilohko vastaa ruuvisyöttöjen nopeuden ohjauksesta. Toimilohkon tuloon yhdistettyyn datalohkon sijaintiin määritetään pulssin leveys, ja toimilohkon lähtöön yhdistetty %QW1000-muuttuja määrittää pulssinleveyden käyttöjakson.

Network 1: PWM speed control of screw feeder 1.



Kuva 25. Ruuvisyöttöjen nopeuden ohjaus CTRL_PWM-toimilohkolla.

Logiikkaohjaimen asetuksista määritettiin pulssinleveysmodulaation asetukset. S7-1200-logiikkaohjaimella on mahdollista ottaa käyttöön enintään neljä PWM-lähtöä, joista jokaisen asetukset voidaan määrittää erikseen kuvassa 26 esitetyistä valikosta.



Kuva 26. PWM-asetukset [16].

Asetuksista on mahdollista määrittää PWM-lähtöjen käyttöönoton lisäksi pulssinleveysmodulaatiossa käytettävä aikayksikkö (Time base) milli- tai mikrosekunteinä, pulssinleveyden resoluutio (Pulse duration format), käyttöjakso (Cycle time), ensimmäisen pulssin kesto sekä pulssinleveysmodulaatioon käytettävä digitaalinen lähtö.

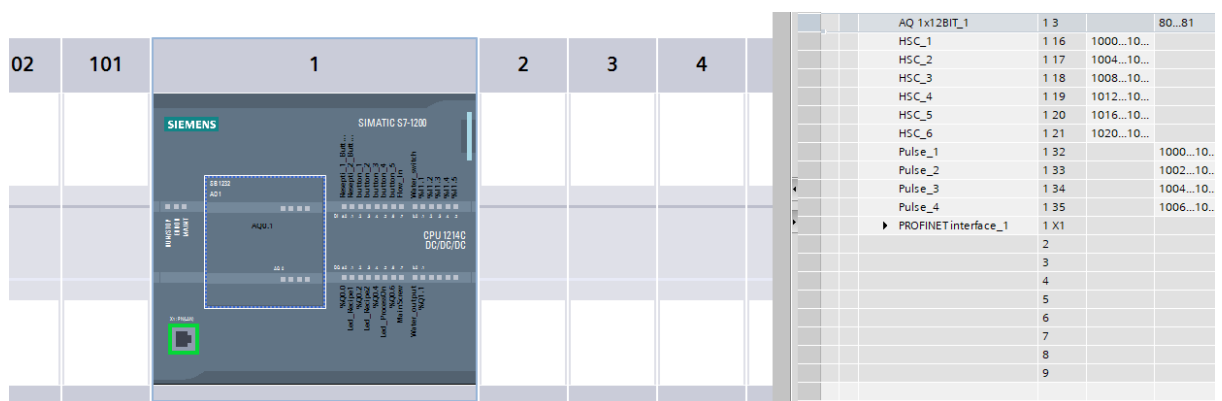
6.2.6 6ES7232-4HA30-0XB0-laajennusmoduuli

Projektissa käytettiin eri jauheiden annosteluun viittä ruuvisyöttöä, joiden nopeutta oli pystyttävä ohjaamaan. S7-1200-logiikassa on kuitenkin vain neljä PWM-lähtöä, joten yhtä ruuvisyöttöä päätettiin ohjata analogisen lähdön kautta. Tähän tarkoitukseen käytettiin kuvan 27 mukaista 6ES7232-4HA30-0XB0-laajennusmoduulia, joka sisältää yhden 10 VDC:n analogisen lähdön.



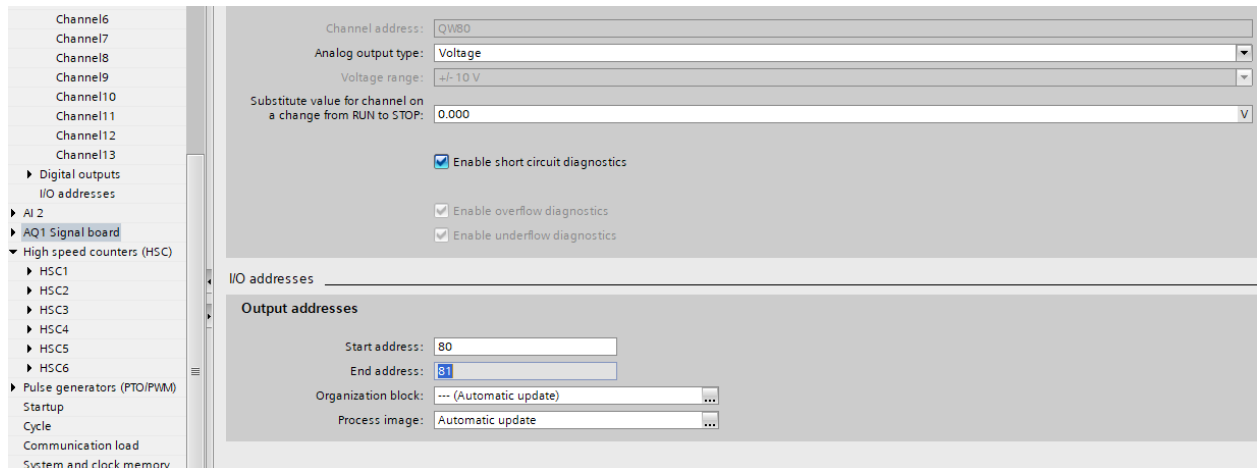
Kuva 27. 6ES7232-4HA30-0XB0-laajennusmoduuli [17].

Laajennusmoduuli asennettiin logiikkaohjaimen päällä olevaan liitântään ja lisättiin logiikkaohjelmaan kuvassa 28 näkyvän TIA-portalin Device management -valikon kautta.



Kuva 28. TIA-portalin Device management -valikko.

Analogisen lähdön tyypiksi määritettiin logiikan General-välilehden kautta löytyvästä, kuvassa 29 näkyvästä AQ1 Signal board -valikosta jännite (Voltage), sillä lähdön tuottamaa signaalia käytettiin ohjaamaan ruuvisyöttöä moottorinohjauskortin kautta.

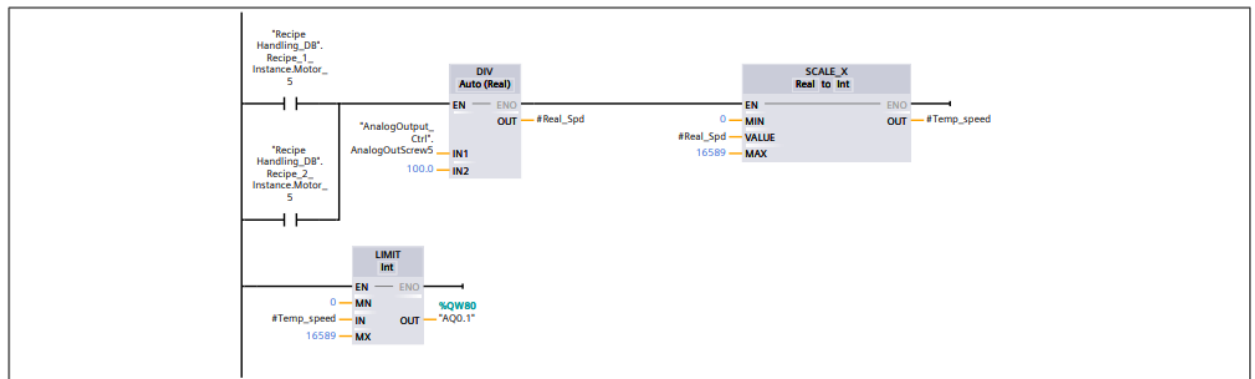


Kuva 29. Laajennusmoduulin asetukset [16].

Projektissa käytettiin ruuvisyöttöjen ohjaukseen 6 V:n tasavirtamoottoreita. Laajennusmoduulin analoginen lähtö tuottaa kuitenkin 10 VDC:n jännitteen, joten signaalia piti rajoittaa moottoreille sopivaksi. Tämä toteutettiin luomalla kuvassa 30 esitetty verkosto.

Network 5: PWM speed control of screw feeder 5. Analog output 0...10 V, Limited to 6 V.

PWM_speedCtrl: min. value: 28.3. Max. value: 100. 16589 equals to 6 V. Value 27648 is 10 V.



Kuva 30. Analogisen lähdön kautta toimiva ruuvisyöttö.

Analogisignaali muunnettiin Real-muotoiseksi DIV-toimilohkolla, minkä jälkeen se skaalattiin Scale_X-toimilohkolla. Lopuksi signaalin maksimijännite rajoitettiin 6 VDC:hen LIMIT-toimilohkolla. TIA-portalissa analogiarvot voidaan määrittää välillä 0–27648, missä 27648 tarkoittaa maksimiarvoa [18] eli tässä tapauksessa 10 VDC:tä. LIMIT-toimilohkolla voidaan määrittää signaalin rajoitettu maksimiarvo, joka oli tässä tapauksessa 6 VDC:tä vastaava 16589. Tämä arvo laskettiin kaavalla 1.

$$X = \left(\frac{X_{max}}{V_{max}} \right) * V \quad (1)$$

X on signaalin rajoitettu maksimiarvo

X_{max} on Signaalin maksimiarvo

V_{max} on Analogilähdön maksimijännite

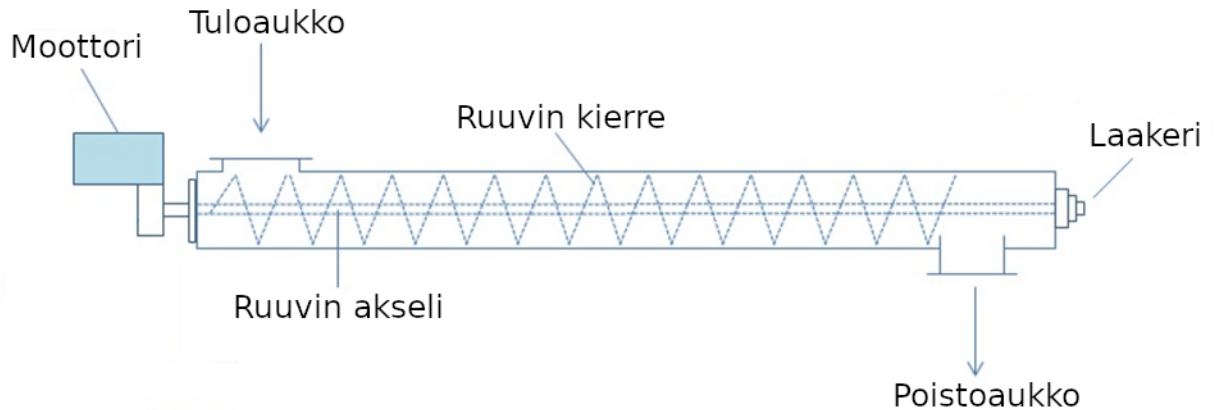
V DC-moottorin jännite.

6.3 Ruuvisyötöt

Projektissa käytettiin ruuvisyöttöjä siirtämään akustiikkamassan valmistuksessa käytettävää jauhetta säiliöistä vaaka-anturille. Ruuvisyöttö tai ruuvikuljetin on kuljetinmekanismi, joka hyödyntää ruuvin muotoista pyörivää terää materiaalin siirtämiseen pisteestä toiseen.

Ruuvisyötöt koostuvat pääasiassa pyörivästä ruuviakselista, jonka toinen pää on kiinnitetty moottoriin, sekä kourusta tai putkesta, jonka sisällä akseli pyörii siirtäen materiaalia eteenpäin. Kourussa on tavallisesti säiliöön yhdistettävä tu-loaukko, jonka kautta kuljetettava irtomateriaali tuodaan ruuvisyötölle, sekä poistoaukko, josta materiaali syötetään eteenpäin. Kun moottoriin kiinnitetty akseli pyörii, ruuvin kierteet liikuttavat irtomateriaalia eteenpäin kourussa kohti poistoaukkoa. [19.] Ruuvisyöttöjä voidaan käyttää liikuttamaan irtomateriaalia vaaka- tai pystysuunnassa, tai ne voidaan asentaa tiettyyn kulmaan [20].

Pidemmissä ruuvisyötöissä syöttöruuvin akseli voidaan kiinnittää kuvassa 31 esitetyllä tavalla myös ruuvin toisesta päästä laakerilla tai vaihtoehtoisesti akselin keskeltä, jolloin kouru voi olla toisesta päästä avoin. Ruuvisyöttimen rakenne voi vaihdella käsiteltävän materiaalin tyypin ja syöttimen käyttötarkoituksen mukaan. [20.]



Kuva 31. Lämpileikkaus ruuvisyötöstä [19]. Kuvaa muokattu.

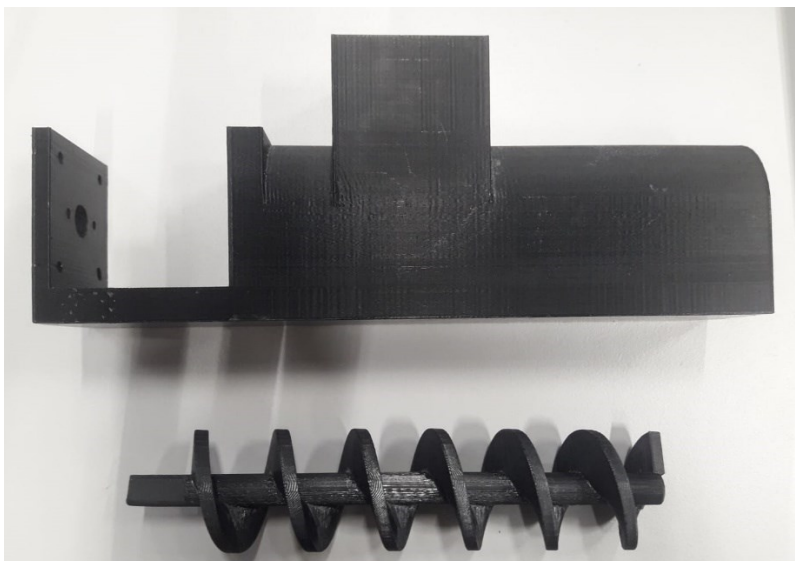
Ruuvisyöttölaitteita käytetään yleisesti useilla teollisuudenaloilla, mukaan lukien maatalous, elintarvikejalostus, kemiallinen jalostus ja kaivosteollisuus. Niitä voidaan käyttää jauheiden, rakeiden ja muiden pienten hiukkasten sekä neste-mäisten materiaalien siirtämiseen. Yleisiä ruuvisyöttölaitteiden sovelluksia ovat materiaalien annostelu prosessiin, materiaalien sekoittaminen ja materiaalien kuljettaminen pisteestä toiseen. [20.]

Ruuvisyöttimen suorituskykyyn vaikuttavat useat tekijät, mukaan lukien ruuvin koko ja muoto, putken tai kourun halkaisija ja pituus sekä ruuvin pyörimisnopeus. Näitä parametreja voidaan säätää ruuvisyöttimen suorituskyvyn optimoimiseksi tiettyä sovellusta varten. [20.]

Projektin aikana tehtiin useita tarjouspyyntöjä teollisista ruuvisyötöistä, mutta ne osoittautuivat liian kalliiksi ottaen huomioon laitteen prototyypin. Laitteeseen keväällä asennetut kaksi 3D-tulostettua ruuvisyöttöä kuitenkin toimivat tarkoitukseen nähden hyvin, joten lopulta 3D-tulostettuja ruuvisyöttöjä päätettiin rakentaa neljä kappaletta lisää. Näitä ruuvisyöttöjä kasattiin valmiiseen prototyyppiin yhteensä kuusi kappaletta: viisi identtistä ruuvisyöttöä eri jauheille ja yksi 45 asteen kulmassa oleva ruuvisyöttö, joka asennettiin vaa'an päälle.

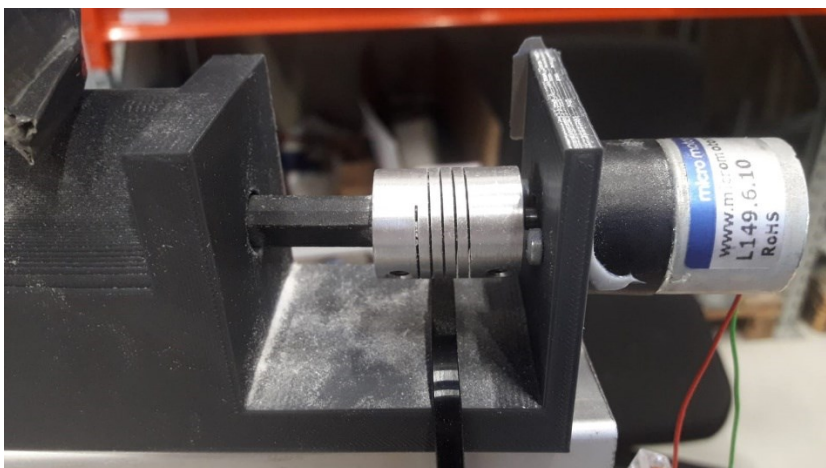
Ruuvisyötöt koostuvat kuvassa 32 esitetyistä syöttöruuvista sekä rungosta, joka on toisesta päästä avoin. Rungon yläosaan mallinnettiin tuloaukko, jonka kautta

jauhe tuodaan syöttöruuville. Kuvassa vasemmalla on runkoon mallinnettu tukiseinä, johon DC-moottori voidaan kiinnittää.



Kuva 32. 3d-tulostetun ruuvisyötön osat.

Ruuvisyötöt koottiin kiinnittämällä syöttöruuvien akseli DC-moottorin pyörimisakseliin kuvassa 33 näkyvän alumiinisen akselikytkimen avulla.



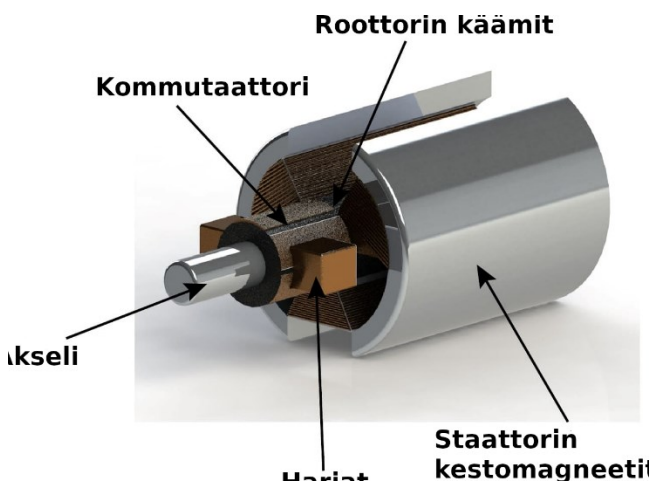
Kuva 33. Ruuvisyötön ruuvi kiinnitettynä DC-moottoriin akselikytkimen avulla.

Ruuvisyötön kappaleet mallinnettiin Catia-3D-suunnitteluympäristössä ja tulostettiin Ultimaker S5 -3D-tulostimella. Kappaleet tulostettiin PLA-muovista ja tulostuksen tukimateriaalina käytettiin vesiliukoista PVA-filamenttia.

DC-moottorit

Projektissa käytettyjen ruuvisyöttöjen ohjaamiseen käytettiin ruuvisyötön akseliin kiinnitettävää DC-moottoria. DC-moottori eli tasavirtamoottori on sähkömoottori, joka muuntaa sähköenergian mekaaniseksi energiaksi magneettikentän ja sähkövirran välisen vuorovaikutuksen kautta. Tasavirtamoottoreita käytetään yleisesti monissa sovelluksissa, ja ne voivat vaihdella kooltaan ja teholtaan pienemmistä, robotiikassa ja leluissa käytettävistä moottoreista suurempiin, ajoneuvoissa tai hisseissä käytettäviin moottoreihin. [21.]

Kuvassa 34 esitetty tasavirtamoottorin rakenne koostuu kahdesta pääkomponentista: roottorista, joka on moottorin pyörivä osa, ja staattorista, joka on moottorin kiinteä osa. Roottori koostuu lankakelasta, joka on kierretty sydämen ympärille ja asennettu pyörivään akseliin. Staattori koostuu kestopagneetista tai sähkömagneetista, joka tuottaa magneettikentän. [21.]



Kuva 34. DC-moottorin rakenne [21]. Kuvaa muokattu.

Kun DC-jännitettä syötetään moottorin napoihin, virta kulkee roottorin lankakelan läpi luoden magneettikentän. Tämä magneettikenttä on vuorovaikutuksessa staattorin tuottaman magneettikentän kanssa, jolloin roottori pyörii. Pyörimissuunta riippuu roottorin käämin virran suunnasta, mikä tarkoittaa, että tasavirtamoottorin pyörimissuuntaa voidaan vaihtaa vaihtamalla virran suuntaa. [21.]

Tasavirtamoottorit voidaan luokitella kahteen päätyyppiin: harjallisiin ja harjattomiin. Harjalliset DC-moottorit käyttävät harjoja ja kommutaattoria virran suunnan vaihtamiseen roottorin kelassa. Harjalliset DC-moottorit vaativat säännöllistä huoltoa, sillä harjat kuluvat moottoria käytettäessä. Harjattomissa tasavirtamoottoreissa käytetään elektronisia piirejä virran suunnan ohjaamiseen. Tasavirtamoottorin etuja ovat esimerkiksi korkea hyötysuhde, suuri vääntömomentti pienillä nopeuksilla ja kyky ohjata nopeutta ja vääntömomenttia. [21.]

Keväällä valmistunut konseptimalli käytti kahta releiden kautta ohjattavaa 6 V:n DC-moottoria ruuvisyöttöjen ohjaukseen. Näiden moottoreiden teho ei kuitenkaan riittänyt ruuvisyöttöjen pyörittämiseen, kun jauhetta lisättiin säiliöihin suurempi määrä, joka vastasi akustiikkamassan valmistusprosessissa käytettävää todellista määrää. Moottoreiden tilalle vaihdettiin uudet, suuremman vääntömomentin omaavat 6 V:n DC-moottorit. Koska prosessiin vaadittava todellinen vääntömomentti osoittautui vaikeasti määriteltäväksi ruuvisyöttöistä johtuen, moottoreiden teho päätettiin ylimitoittaa.

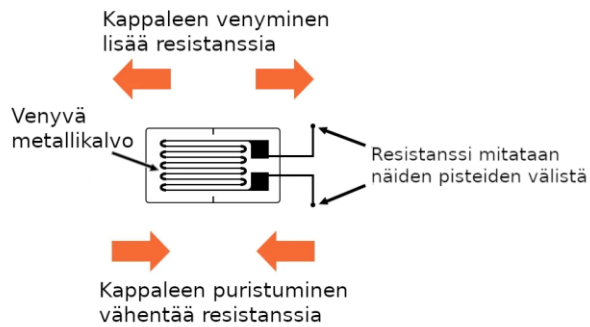
6.4 Jauheen punnitus

Automatisoidun jauheannostelijan punnitussysteemi toteutettiin asiakkaan toimittamalla kuormitusanturilla sekä siihen liitettävällä digitaalisella vaakavahvistimella.

Venymäliuska-anturi

Automatisoidun jauheannostelijan annosteleman jauheen punnitus perustuu alumiiniseen kuormitusanturiin kiinnitettyyn venymäliuska-anturiin. Venymäliuska-anturi on anturi, jota käytetään mittaamaan kohteen venymää tai muodonmuutosta. Sen toiminta perustuu metallin ominaisuuksiin, jotka muuttuvat, kun anturiliuskaa venytetään tai puristetaan kasaan [22]. Anturi on tavallisesti kuvan 35 kaltainen ohut, joustava metallikalvo tai -nauha, joka on kiinnitetty joustavaan kappaleeseen, kuten lasikuituun tai alumiiniin. Kun kappaleen muoto muuttuu, venymäanturin metallikalvo venyy tai puristuu, mikä aiheuttaa

muutoksen sen sähkövastuksessa. Tämä resistanssin muutos on verrannollinen kohteen kokemaan jännityksen määrään, ja se voidaan mitata Wheatstonen silaksi kutsutun sähköpiirin avulla. [22.]

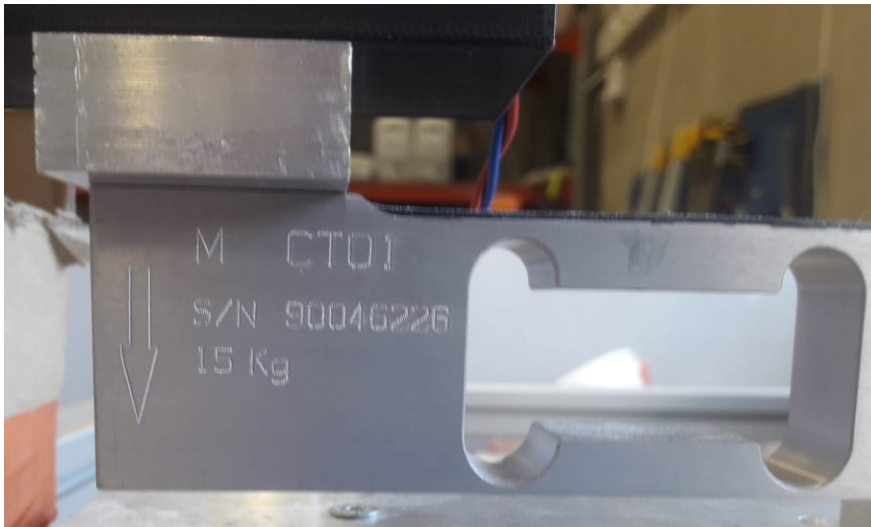


Kuva 35. Venymäliuska-anturin toiminta [22]. Kuvaa muokattu.

Venymäliuska-antureita käytetään laajalti teknisissä sovelluksissa, mukaan lukien jännitysanalyysi, kuormituksen mittaaminen ja muodonmuutosten seuranta. Niitä käytetään yleisesti asennettuna punnituskennoihin, joilla mitataan esineiden painoa. [22.]

VPG Tede-Huntleigh 1042 -kuormitusanturi

Jauheen punnitus toteutettiin asiakkaan toimittamalla kuormitusanturilla. Projektissa käytetty VPG Tede-Huntleigh 1042 on kuvassa 36 esitetty alumiininen, punnitusalustalle asennettava yksipistekuormitusanturi, joka muuntaa voiman tai painon sähköiseksi signaaliksi. Tällaisia kuormitusantureita käytetään yleisesti teollisissa sovelluksissa, kuten punnituksessa ja voimanmittauksessa, joissa tarkkuus ja luotettavuus ovat tärkeitä. [23, s. 1.] Projektissa käytetyllä punnitusanturilla pystytään mittaamaan kuormia 15 kilogrammaan asti 0,02 %:n virhemarginaalilla [24].

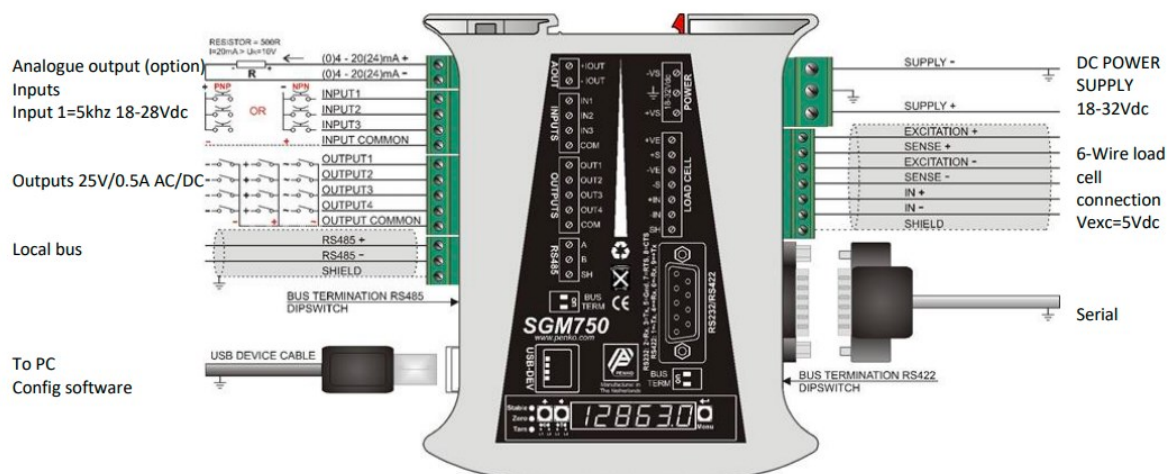


Kuva 36. VPG Tede-Huntleigh 1042 -kuormitusanturi.

1042-kuormitusanturi on suunniteltu muuttamaan mekaaninen voima tai paino sähköiseksi signaaliksi, jota voidaan mitata ja analysoida. Se käyttää venymäantureita, jotka muuttavat sähkövastustaan joutuessaan alttiiksi mekaaniselle rasitukselle. Venymäanturit on kiinnitetty metallipalkkiin, joka muuttaa hieman muotoaan, kun siihen kohdistetaan voimaa tai painoa. Tämä muodonmuutos aiheuttaa venymäanturien vastuksessa muutoksen, joka on verrannollinen käytettyyn voimaan tai painoon. Tämä resistanssin muutos mitataan sitten Wheatstonen siltapiirillä ja muunnetaan sähköiseksi signaaliksi, jota voidaan vahvistaa ja analysoida kennoon liitettävillä laitteilla, kuten projektissa käytettävällä Penko SGM 700 -sarjan vaakapäätteellä. [23.]

Penko SGM750

Projektissa käytettiin kuormitusanturin syöttämän sähköisen signaalin analysoimiseksi asiakkaan toimittamaa, kuvassa 37 esitettyä Penko SGM750 -digitaalista vaakavahvistinta. Penko SGM700 -sarjan laitteet ovat kuormituskennoon liitettäviä vaakavahvistimia, joita käytetään vahvistamaan kuormituskennon signaalia luettavaan muotoon.



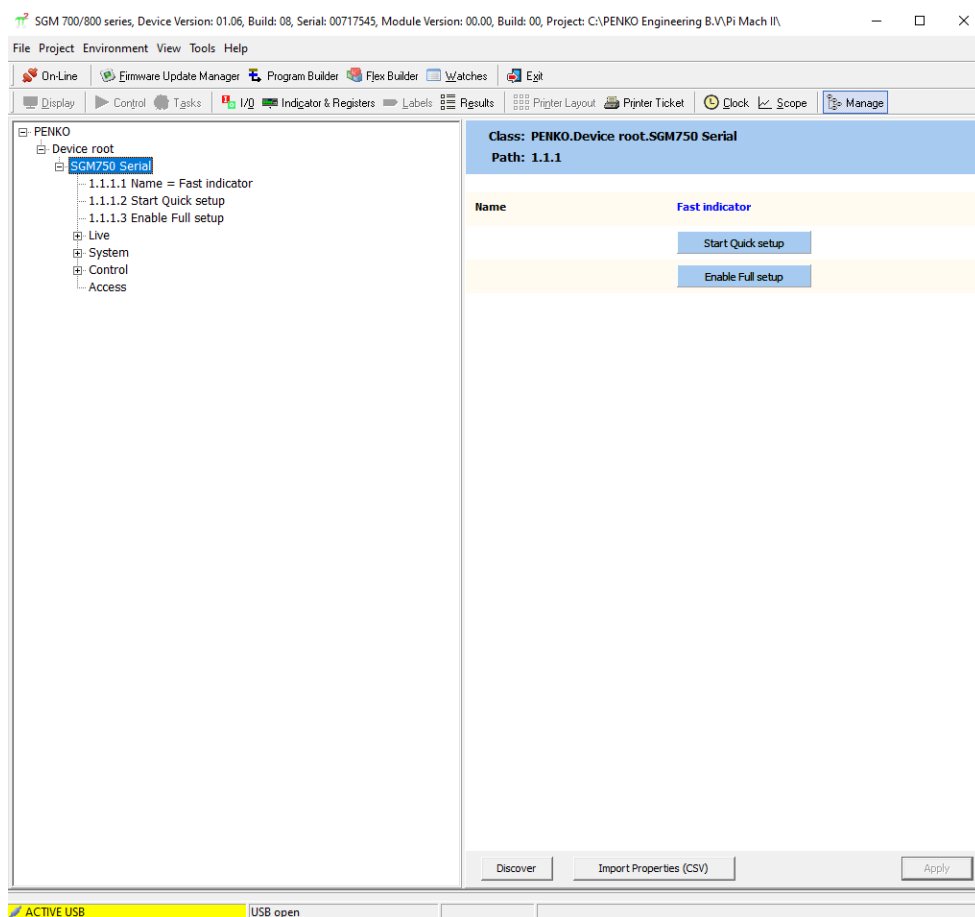
Kuva 37. Penko SGM750 -digitaalinen vahvistin [25, s. 10].

Projektissa käytetyssä SGM750-vaakavahvistimessa on sisäänrakennettu RS-485- ja RS-232-sarjaliikenneliitäntä, jonka kautta se voi kommunikoida muiden laitteiden ja järjestelmien kanssa.

Pi Mach 2

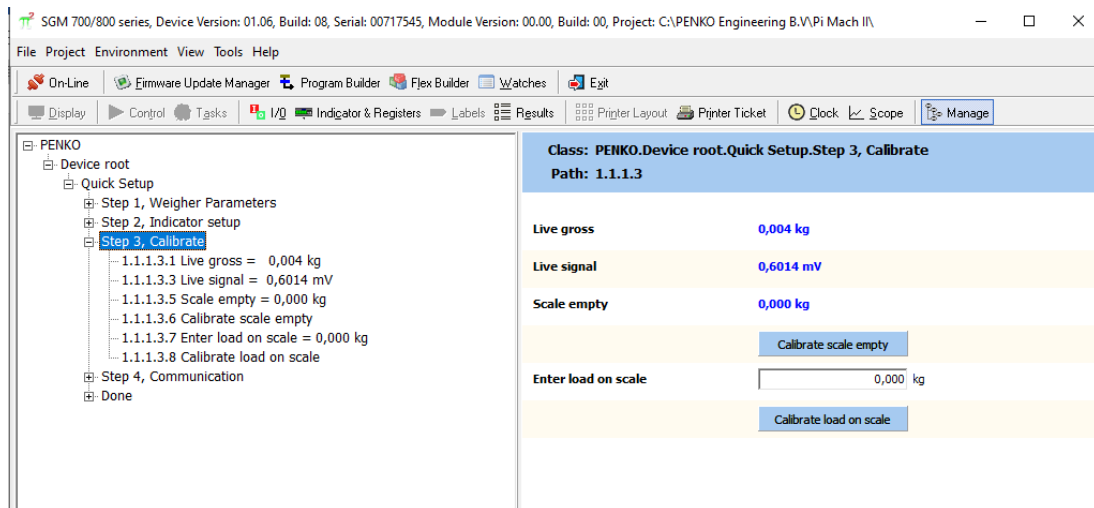
Penko SMG700 -sarjan tuotteiden tueksi on kehitetty Pi Mach 2 -niminen ohjelmisto, jonka avulla laitteiden asetuksia voidaan määrittää joko USB- tai Ethernet-yhteyden kautta riippuen laitteen mallista. Projektissa käytettävä SGM750-malli tukee USB-liitäntää.

Pi Mach 2 -ohjelman kautta voidaan konfiguroida laitteen yhteysasetuksia sekä esimerkiksi määrittää laitteen input- ja output-asetukset ja laitteen kalibrointi. Kuvassa 38 on esitetty ohjelman etusivu, josta voidaan valita, halutaanko laitetta konfiguroida ohjelman pikaversiolla vai ohjelman täysversiolla, jonka kautta on mahdollista määrittää tarkemmin esimerkiksi laitteen yhteysasetuksia sekä herkkyys- ja suodatusasetuksia. Kuvan vasemmassa alalaidassa näkyy, että laite on yhdistetty tietokoneeseen USB-kaapelin kautta.



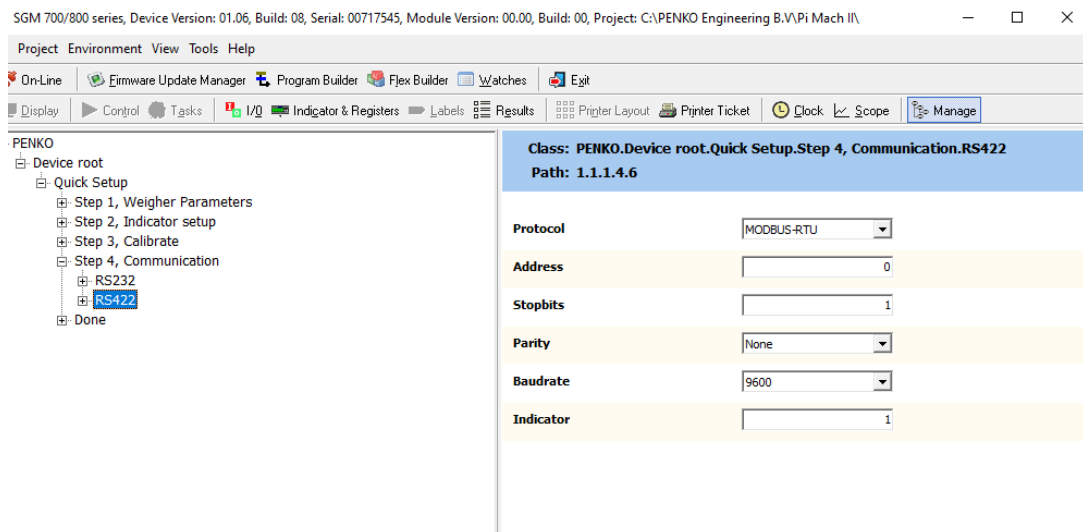
Kuva 38. Pi Mach 2 -ohjelman etusivu [26].

Vaakapäänteen konfiguroinnista oli projektin aikaisemmassa vaiheessa järjestetty koulutus, jossa työn tekijä ei kuitenkaan ollut osallisena. Vaakapäänteen konfigurointiin käytettiin pitkälti ohjelmiston Quick setup -versiota, sillä Full setup -versioon ei löytynyt kattavaa manuaalia. Laitteen käyttöohje voisi olla selkeämpi Pi Mach 2 -ohjelman kautta suoritettavan asennuksen suhteen. Nyt käyttöohje keskittyy pitkälti laitteen manuaaliseen asennukseen sen ohjauspaneelin kautta, eikä kerro juuri mitään Pi Mach 2 -ohjelman kautta tehtävästä asetusten määrittämisestä. Kuvassa 39 näkyy Quick setup -valikon kautta avautuva kalibrointivälilehti, jonka kautta vaaka voidaan kalibroida ensin tyhjänä Calibrate scale empty -painikkeella ja tämän jälkeen asettamalla vaa`alle paino ja painamalla Calibrate load on scale -painiketta. Live gross näyttää vaa`alla olevan painon reaaliajassa, ja Live signal näyttää vaa`alta vaakapäänteelle tulevan jännitteen arvon.



Kuva 39. Penko SGM750 -vaakapään kalibrointi Pi Mach 2 -ohjelmalla [26].

Kuvassa 40 näkyvän Communication-valikon kautta voidaan määrittää laitteen käyttämät yhteysasetukset.



Kuva 40. Yhteysasetusten määrittely Pi Mach 2 -ohjelman kautta [26].

Valikosta voidaan määrittää SGM750:n tukeman sarjaliikennekommunikaation käyttämän sarjaliikenneväylän lisäksi käytettävä kommunikaatioprotokolla (Modbus RTU tai Modbus ASCII), pariteettibitti sekä baudinopeus, jonka täytyy vastata muiden laitteeseen liitettyjen Modbus-laitteiden nopeutta.

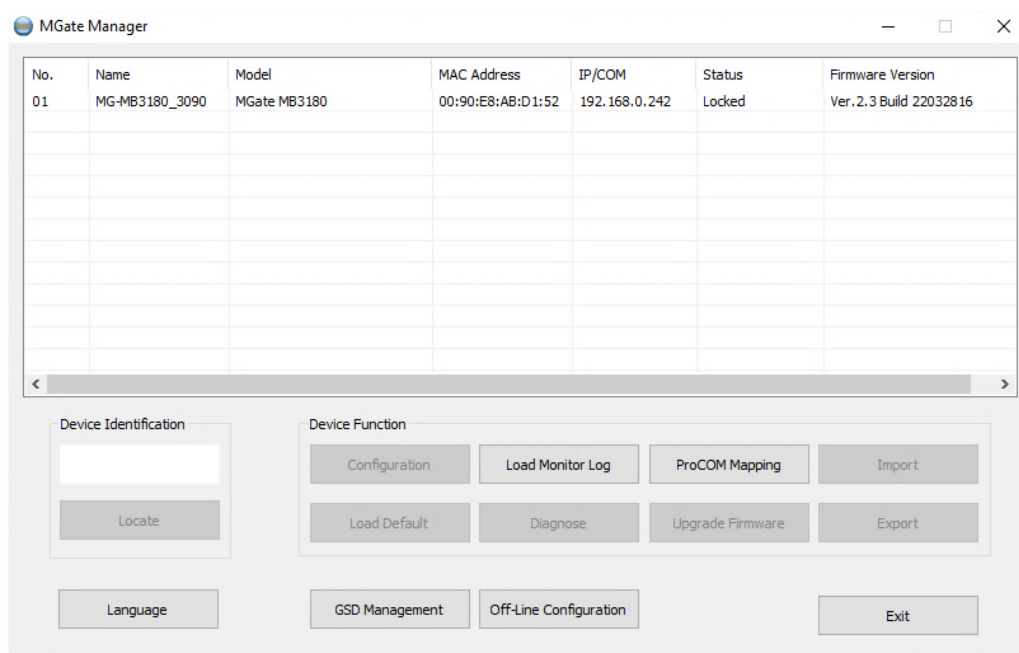
6.5 Moxa MB3180 -Modbus-yhdyskäytävä

S7-1200-logiikkaohjaimen Ethernet-pohjaisen Modbus TCP/IP:n ja Penko SGM750 -vaakavahvistimen sarjaliikenneprotokollaa käyttävän Modbus RTU/ASCII:n välinen kommunikaatio toteutettiin projektissa Modbus-yhdyskäytävällä. Moxa MB3180 -yhdyskäytävä muuntaa sen läpi kulkevaa dataa Modbus TCP ja Modbus ASCII/RTU -protokollien välillä, jolloin Ethernet-pohjaisella PLC:llä voidaan ohjata laitteita sarjaliikenneprotokollan kautta ilman lisäohjelmointia [27, s. 6]. Modbus-verkkojen integroimiseksi MGate MB3000 -sarjan laitteet sisältävät Ethernet-liitännän lisäksi enintään neljä sarjaliikenneporttia laitteen mallista riippuen. Projektissa käytetty MGate MB3180 sisältää Ethernet-portin lisäksi yhden DB9-sarjaliikenneportin.

Modbus-protokollaa käytettäessä laitteet on määriteltävä selkeästi joko asiakas- tai palvelinlaitteiksi [27, s. 6]. MGate MB3180:n kautta on mahdollista määrittää jokaisen sarjaliikenneporttiin kiinnitetyn laitteen toimintatila erikseen. Moxan MGate MB3000 -sarjan mukana tulee Windows-pohjainen apuohjelma, MGate Manager, jota käytetään MGate MB3000 -sarjan laitteiden määrittämiseen.

MGate Manager

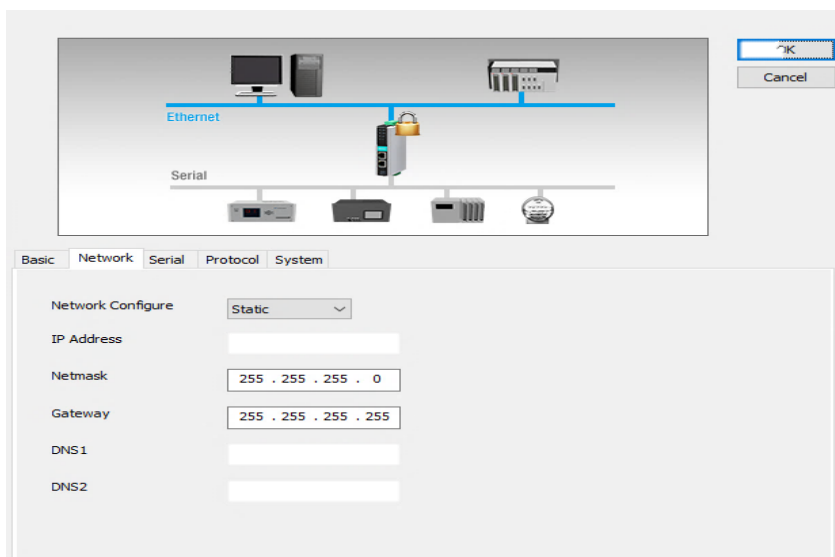
Moxa MGate MB3180:n mukana tulleen MGate Manager -konfigurointiohjelman avulla määritettiin Modbus-yhdyskäytävän parametrit. Ohjelma tunnisti tietokoneeseen Ethernet-portin kautta kytketyn laitteen automaattisesti kuvassa 41 näkyvän aloitusikkunan Search-painiketta painamalla. Laite on myös mahdollista hakea manuaalisesti syöttämällä siinä vakioasetuksena oleva IP-osoite ohjelmaan. Jos samaan verkkoon olisi kytkettynä useampi Moxan laite, niiden kaikkien pitäisi näkyä tässä ikkunassa.



Kuva 41. Yhdyskäytävän hakeminen MGate Manager -apuohjelmalla [28].

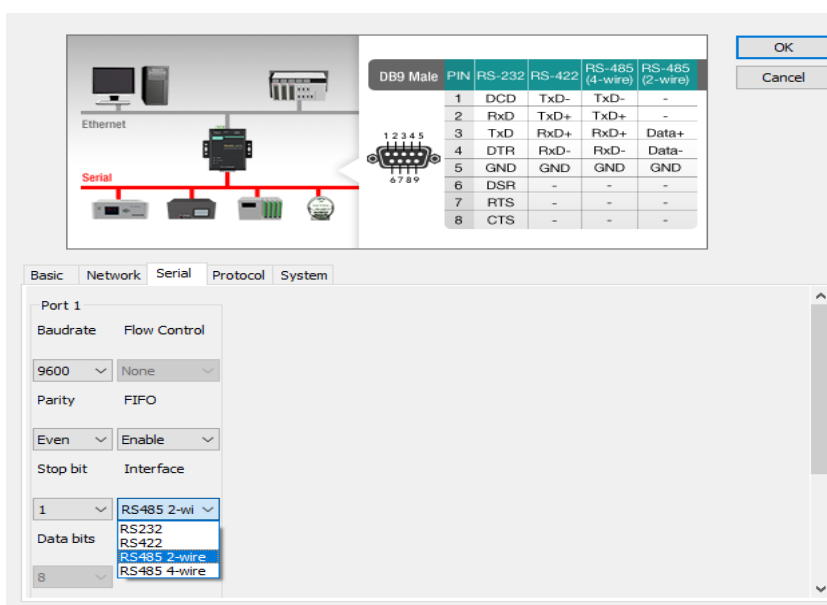
Kun laite on tunnistettu, sen asetuksia voidaan hallita MGate Managerin kautta. Ohjelma pyytää laitteeseen oletuksena asetettuja käyttäjätunnusta sekä salasanaa, jotka voidaan määrittää asetuksista uudestaan. Oletuskäyttäjä sekä -salasana pidettiin kuitenkin toistaiseksi voimassa, jotta asiakas voi määrittää laitteelle haluamansa käyttäjänimen sekä salasanan, kun laite on valmis asennettavaksi yrityksen tiloihin.

Ohjelman Network-välilehdeltä määritettiin yhdyskäytävälle uudet verkkoparametrit. Yhdyskäytävälle asetettiin kuvassa 42 näkyvästä ikkunasta uusi IP-osoite, jotta se olisi samassa verkossa kuin s7-1200 CPU -logiikka sekä tietokone, jolla ohjelmointi tapahtuu.



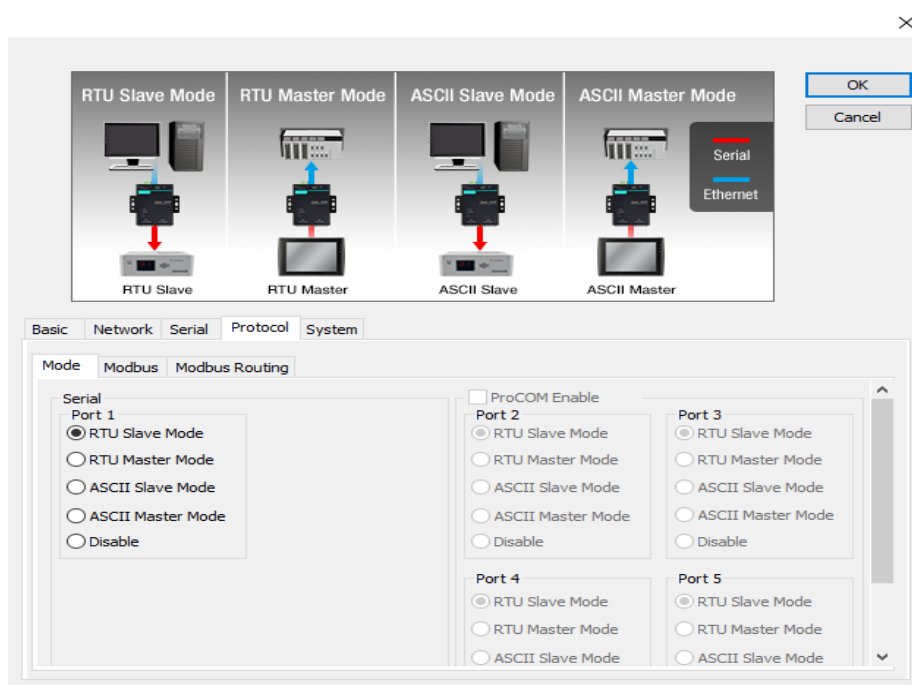
Kuva 42. IP-asetusten määrittäminen MGate Manager -apuohjelmalla [28].

Kuvassa 43 näkyvästä Serial-välilehdestä määritettiin yhdyskäytävän sarjaliikenteen parametrit niin, että ne vastaavat Penko SGM750 -digitaaliseen vaakavahvistimelle määritettyjä sarjaliikenneparametreja. Baudrate eli tiedonsiirtonopeus asetettiin 9600:aan baudiin. Parity on "Even" ja Stopbit on 1. Interface eli liitäntä, jota vaakavahvistimen ja Moxan yhdyskäytävän välinen yhteys käyttää, on RS485 2-wire. MGate Manager tukee myös RS232- ja RS422-liitäntöjä sekä RS485 4-wire -liitäntää.



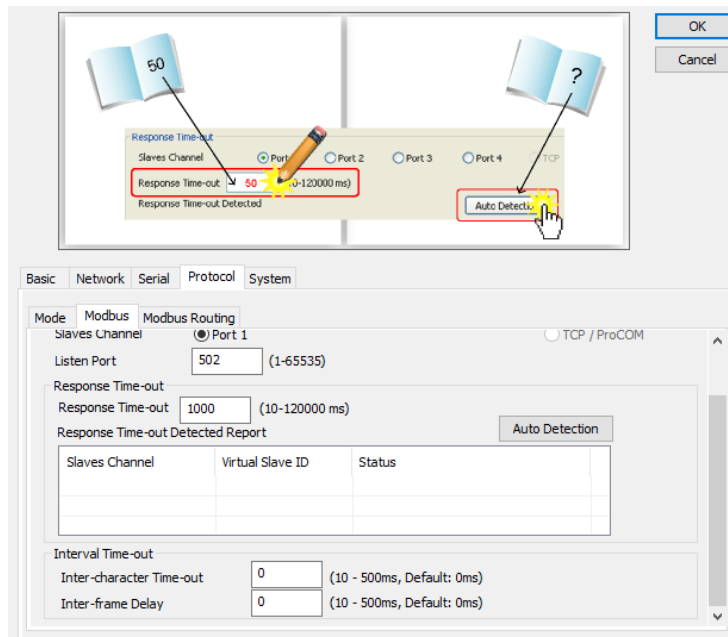
Kuva 43. Sarjaliikenneparametrien määrittäminen MGate Manager -ohjelmalla [28].

Konfigurointiohjelman Protocol-välilehdeltä määritettiin yhdyskäytävän käyttämän Modbus-protokollan muoto sekä toimintatila. Kuvassa 44 esitetyn välilehden Mode-pudotusikkunasta valittava laitteen toimintatila määrittää, toimivatko sarjaporttiin kytketyt laitteet asiakas- vai palvelinlaitteina. Tässä tapauksessa käytettiin RTU Slave -toimintatilaa. S7-1200-logiikka pyrkii lukemaan vaakaa lähettämällä pyyntöjä, joten se on asiakaslaite ja yhdyskäytävän sarjaliikenneporttiin yhdistettävä digitaalinen vaakapääte toimii näihin pyyntöihin vastaavana palvelinlaitteena. Jos käytössä on MGate MB3000 -sarjan laite, jossa on useampi liitäntäportti, Protocol-välilehdeltä on mahdollista määrittää toimintatila erikseen jokaiselle portille.



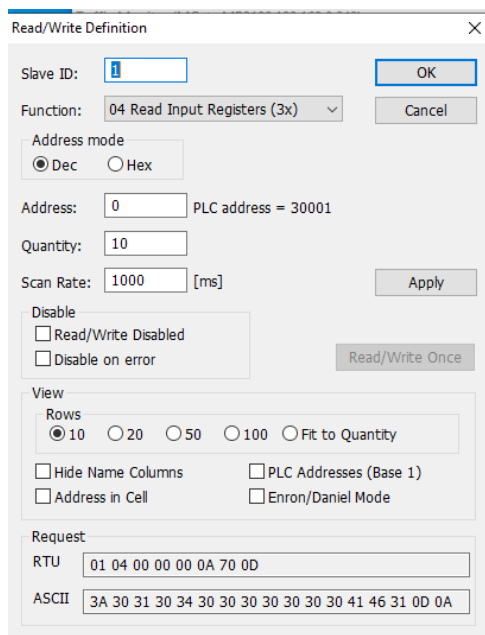
Kuva 44. Yhdyskäytävän toimintatilan määrittäminen MGate Manager -apuohjelmalla [28].

Yhdyskäytävälle määritettiin Protocol-välilehden Modbus-osiosta (kuva 45) sen sarjaliikenneporttiin yhdistetyn Server-laitteen tunniste. Joissakin tapauksissa ohjelma osaa määrittää tunnisteen (ID) automaattisesti lukemalla porttia, johon laite on yhdistetty. Tässä tapauksessa tunniste piti kuitenkin määrittää manuaalisesti. Se on sama kuin digitaalisen vaakapääteen asetuksista sille määritetty tunniste. Ohjelma lukee oletuksena porttia 502, joka on Modbus TCP/IP -yhteydelle varattu oletusportti.



Kuva 45. Server-laitteen ID:n määrittäminen [28].

Kun laitteen asetukset saatiin määritettyä, testattiin yhdyskäytävän toimintaa MGate Manager-apuohjelman aloitusikkunasta löytyvän monitorointipaneelin kautta. Koska S7-1200-logiikan Modbus-asetuksia ei ollut vielä määritetty, simuloitiin asiakaslaitetta kuvassa 46 näkyvän Modbus Poll -ohjelman avulla. Ohjelman kautta on mahdollista luoda virtuaalinen Modbus-asiakaslaite, jolla voidaan lähettää pyyntöjä palvelinlaitteelle.



Kuva 46. Modbus Poll -simulointiohjelma [29].

Modbus Poll -ohjelmalla on mahdollista määrittää luettavan Server-laitteen ID, toteutettava Modbus-funktio sekä luettavien tai kirjoitettavien rekisterien määrä. Jos projektissa käytetään useampaa Server-laitetta, ohjelman kautta on mahdollista määrittää laitteiden tarkemmat osoitteet.

Kuvassa 47 on esitetty MGate Manager -ohjelman Monitor-ikkuna, jonka kautta Moxa MB3180 -Modbus-yhdyskäytävän kautta kulkevaa dataa voidaan seurata.

Traffic Monitor (MGate MB3180 192.168.0.242)

All
 Exception only
 Slave ID only
 Source only
 Function code only

Filter info:

Start Stop Clear

No.	Time	Src. & Dst.	Type	Slave...	Function Code	Data	Comment
1	0.000	Port1<-	RTU Resp.	1	0x04	01 04 20 3B A3 D7 0A 3B A3 D7 ...	Read Input Registers
2	0.000	192.168.0.245:49152->	TCP Resp.	1	0x04	01 FD 00 00 00 23 01 04 20 3B ...	Read Input Registers
3	0.035	192.168.0.245:49152<-	TCP Req.	1	0x04	01 FE 00 00 00 06 01 04 00 00 0...	Read Input Registers
4	0.035	Port1->	RTU Req.	1	0x04	01 04 00 00 00 10 F1 C6	Read Input Registers
5	0.110	Port1<-	RTU Resp.	1	0x04	01 04 20 3B A3 D7 0A 3B A3 D7 ...	Read Input Registers
6	0.110	192.168.0.245:49152->	TCP Resp.	1	0x04	01 FE 00 00 00 23 01 04 20 3B ...	Read Input Registers
7	0.130	192.168.0.245:49152<-	TCP Req.	1	0x04	01 FF 00 00 00 06 01 04 00 00 0...	Read Input Registers
8	0.130	Port1->	RTU Req.	1	0x04	01 04 00 00 00 10 F1 C6	Read Input Registers
9	0.200	Port1<-	RTU Resp.	1	0x04	01 04 20 3B C4 9B A6 3B C4 9B ...	Read Input Registers
10	0.200	192.168.0.245:49152->	TCP Resp.	1	0x04	01 FF 00 00 00 23 01 04 20 3B ...	Read Input Registers
11	0.245	192.168.0.245:49152<-	TCP Req.	1	0x04	02 00 00 00 00 06 01 04 00 00 0...	Read Input Registers
12	0.245	Port1->	RTU Req.	1	0x04	01 04 00 00 00 10 F1 C6	Read Input Registers
13	0.315	Port1<-	RTU Resp.	1	0x04	01 04 20 3B A3 D7 0A 3B A3 D7 ...	Read Input Registers
14	0.315	192.168.0.245:49152->	TCP Resp.	1	0x04	02 00 00 00 00 23 01 04 20 3B ...	Read Input Registers
15	0.330	192.168.0.245:49152<-	TCP Req.	1	0x04	02 01 00 00 00 06 01 04 00 00 0...	Read Input Registers
16	0.330	Port1->	RTU Req.	1	0x04	01 04 00 00 00 10 F1 C6	Read Input Registers
17	0.400	Port1<-	RTU Resp.	1	0x04	01 04 20 3B A3 D7 0A 3B A3 D7 ...	Read Input Registers
18	0.400	192.168.0.245:49152->	TCP Resp.	1	0x04	02 01 00 00 00 23 01 04 20 3B ...	Read Input Registers
19	0.430	192.168.0.245:49152<-	TCP Req.	1	0x04	02 02 00 00 00 06 01 04 00 00 0...	Read Input Registers
20	0.430	Port1->	RTU Req.	1	0x04	01 04 00 00 00 10 F1 C6	Read Input Registers
21	0.500	Port1<-	RTU Resp.	1	0x04	01 04 20 3B A3 D7 0A 3B A3 D7 ...	Read Input Registers

Previous page Next page

Load Save Exit

Kuva 47. MGate Managerin Monitor-ikkuna [28].

Kuvasta nähdään, kuinka Modbus Poll -ohjelman kautta luodun virtuaalisen Modbus Clientin TCP-muodossa lähetetty pyyntö (TCP Req.) muunnetaan yhdyskäytävän kautta RTU-muotoon (RTU Req.) ja kuinka tähän vastauksena lähetetty RTU-muotoinen data (RTU Resp.) muunnetaan takaisin TCP-muotoon (TCP Resp.).

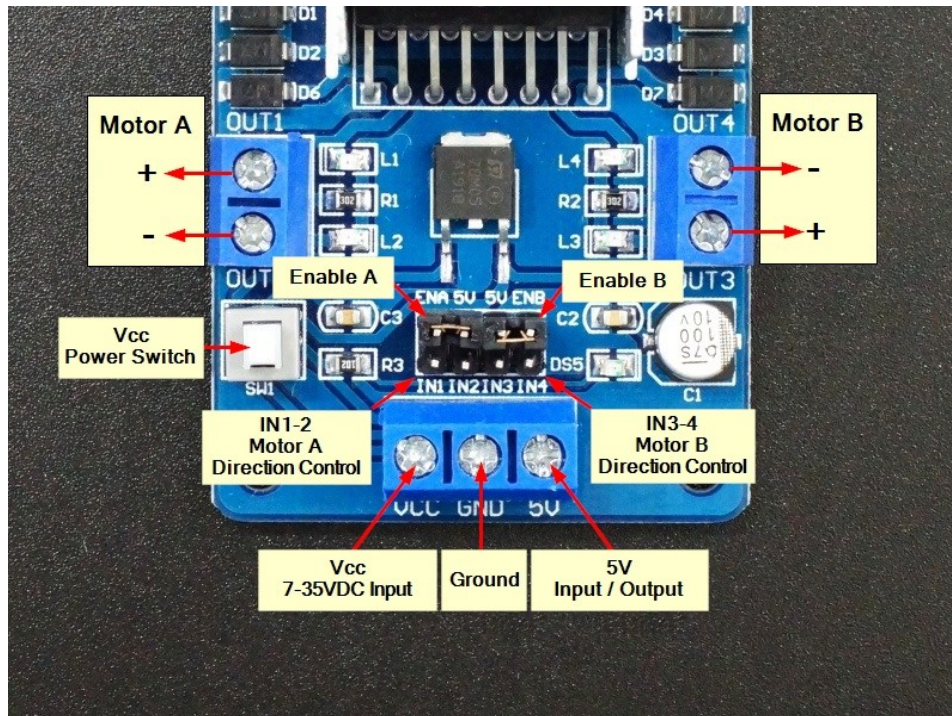
6.6 L298N-moottorinohjauskortti

Moottorinohjauskortti on mikropiiri, joka toimii rajapintana moottorin ja ohjauspiirin välillä. Moottori voi vaatia toimiakseen suuren määrän virtaa, kun taas ohjauspiiri toimii tavallisesti pienemmällä virtasignaaleilla. Moottorinohjauskortin tehtävänä on ottaa ohjauspiiriltä tuleva pienivirtainen ohjaussignaali ja muuttaa se sisäänrakennetun virtavahvistimen avulla vahvemmaksi virtasignaalksi, jolla voidaan ohjata moottoria. Tavallisesti moottorinohjauskorttia käytetään esimerkiksi pienten robottien tai radio-ohjattavien autojen ohjauksessa. [30.]

Projektissa käytetty L298N on kahdella H-sillalla varustettu moottorinohjauskortti, jota voidaan käyttää kahden tasavirtamoottorin nopeuden ja pyörimissuunnan ohjaamiseen. Vaihtoehtoisesti sillä voidaan ohjata yhtä askelmoottoria. L298N-moottorinohjauskortin jännitealue on 5–35 V, ja se pystyy syöttämään 2 A jatkuvaa virtaa kanavaa kohti. [31.]

L298N-moottorinohjauskortissa (kuva 48) on Vcc-liitin, jonka kautta kortille voidaan syöttää 7–35 V:n tulojännite. Ohjauskorttiin yhdistetyn moottorin ja kortille syötetyn tulojännitteen välillä on 2 V:n virranalenema. Tämän lisäksi kortissa on GND-liitin sekä 5 V:n liitin, joka voi toimia joko tulona tai lähtönä.

Vcc-liittimen kautta syötetään virtaa sisäänrakennetulle 5 V:n säätimelle, jota L298N-siru käyttää. Jos tulojännite on välillä 7–12 VDC, 5 V:n liittintä voidaan käyttää syöttämään virtaa Arduinolle tai vastaavalle 5 V:n logiikalle. Sisäänrakennettu 5 V:n säädin pystyy käsittelemään enintään 400 mA. [30.] Jos Vcc-liittimen kautta syötetty jännite on suurempi kuin 12 VDC, ei sisäänrakennettua 5 V:n lähtöä suositella käytettäväksi säätimen mahdollisen ylikuumentumisen varalta. Moduulissa on myös virtakytkin, joka mahdollistaa Vcc-tulon. Kun Vcc on käytössä, punainen led-valo on päällä. Jos käytetään 5 V:n tehonsyöttöä, kytkin ohitetaan ja kortti saa aina virtaa. [30.]

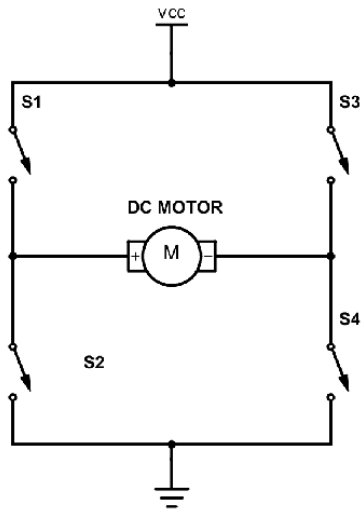


Kuva 48. L298N-moottorinohjauskortti [30].

ENA- ja ENB-nastoja käytetään moottoreiden nopeudensäätöön, ja oletusasetuksena nämä nastat on kytketty oikosulkupalloilla (Jumper) 5 VDC:hen. Jos korttia käytetään askelmoottorin ohjaukseen, nämä oikosulkupalat jätetään paikoilleen. Jos korttia käytetään tasavirtamoottoreiden ohjaukseen, oikosulkupalat voidaan jättää paikoilleen, jolloin moottorit toimivat aina täydellä nopeudella. Jos tasavirtamoottoreiden nopeutta on tarpeen säädellä, ENA- ja ENB-nastat liitetään mikro-ohjaimen PWM-lähtöihin, jolloin moottoreiden nopeutta voidaan ohjata säätämällä pinnille tulevaa käyttöjännitettä pulssinleveysmodulaation avulla. IN1, IN2, IN3 ja IN4 ovat ohjausnastoja, jotka määrittävät moottoreiden pyörimissuunnan ohjauskortin kahden H-sillan asetusten mukaan. IN1- ja IN2-nastat ohjaavat A-moottorisiltaa ja IN3- ja IN4-nastat B-moottorisiltaa. IN1-4-nastoihin on yhdistetty led-valot, jotka palavat vihreinä, kun nastoille tuodaan virtaa. [30.]

Tasavirtamoottorin pyörimissuuntaa voidaan ohjata muuttamalla sen tulojännitteen napaisuutta. Yksi tapa tähän on H-sillan käyttö. H-siltapiiri koostuu neljästä kytkimestä, jotka on järjestetty H-muotoon, moottori on keskellä kytkinten välissä. Kahden tietyn kytkimen sulkeminen samanaikaisesti muuttaa moottorin

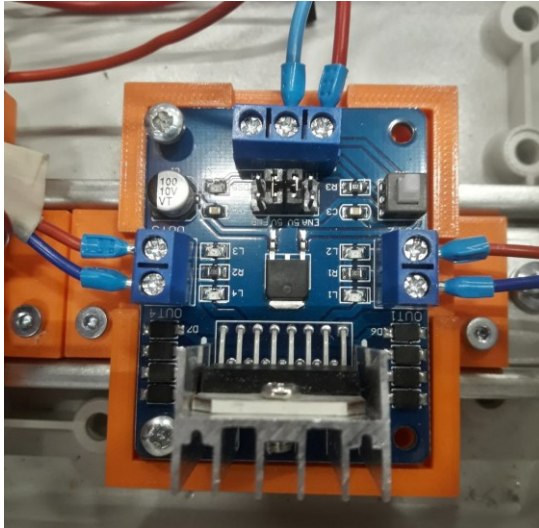
syötetyn jännitteen napaisuuden. Tämä aiheuttaa muutoksen moottorin pyörimissuunnassa. Kuvassa 49 on esitetty H-siltapiiri. Kun kytkimet S1 (vasen yläkulma) ja S4 (oikea alakulma) ovat kiinni, moottori pyörii myötäpäivään. [32.]



Kuva 49. H-siltapiiri [32].

Projektissa käytettiin kolmea L298N-moottorinohjauskorttia, joilla ohjattiin yhteensä viittä DC-moottoria. Kahdelle kortille tuotiin S7-1200-logiikkaohjaimelta PWM-signaali digitaalisten lähtöjen kautta, yhdelle kortille tuotiin analoginen signaali laajennusmoduulin kautta. Tässä tilanteessa moottoreiden pyörimissuuntaa ei ollut tarvetta pystyä ohjaamaan, mutta pyörimissuunta oli kuitenkin määritettävä kortille. Tämä toteutettiin kääntämällä kumpikin oikosulkupala siten, että ne yhdistivät 5 V:n pinnit sekä moottoreiden suunnanohjauspinnit (IN2 ja IN3) toisiinsa.

Moottorinohjauskorteille 3D-mallinnettujen kuvassa 50 esitetyn malliset alustat, joiden avulla ne saatiin kiinnitettyä sähkökoteloon asennettavaan DIN-kiskoon.



Kuva 50. Moottorinohjauskortin alusta.

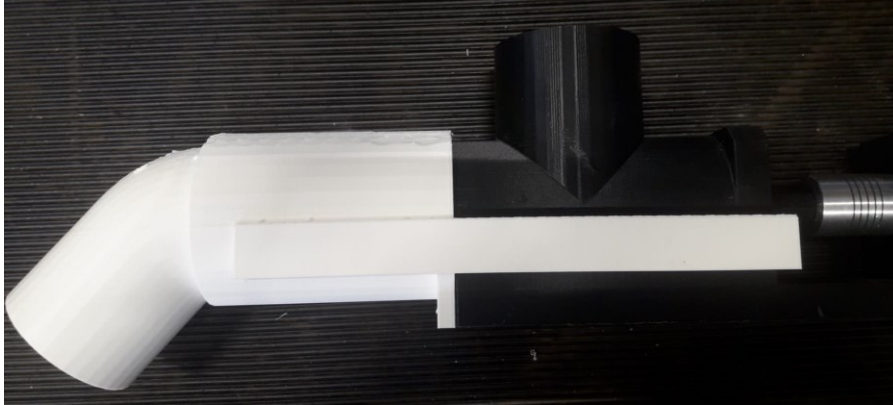
6.7 Laitteen kokoaminen

Projektiä varten teetettiin alumiininen kehikko 40 mm:n paksuisesta alumiiniprofiilista, johon ruuvisyötöt, jauhesäiliöt, putkisto sekä laitteen muut osat kiinnitettiin. Kehikosta mallinnettiin ensin mittojen mukaan 3D-versio, joka on yhteensopiva akustiikkamassan sekoituslaitteen kanssa. 3D-malli lähetettiin eteenpäin yritykselle, joka valmisti kehikon mallin mukaan.

6.7.1 Putkisto

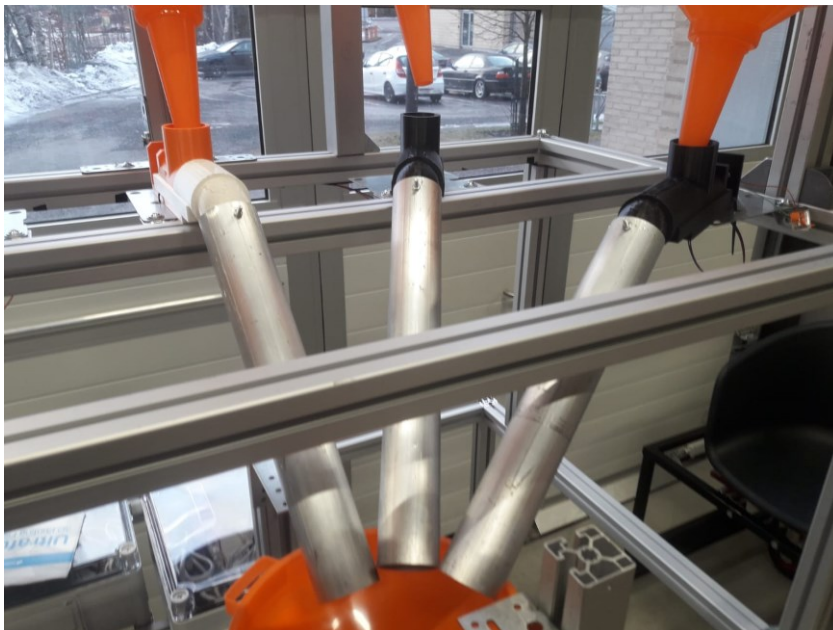
Jauheiden kuljettamista varten suunniteltiin putkisto, jossa viisi erillistä putkea kulkevat ruuvisyötöiltä vaaka-anturin päälle asennettuun ruuvisyöttöön yhdistettyyn suppiloon. Putkiksi valittiin 50 mm ulkohalkaisijaltaan olevaa 2,5 mm paksua alumiiniputkea. Putket oli asennettava tiettyyn kulmaan, jotta ne saataisiin asemoitua kunnolla. Alumiiniputkien taivuttaminen vaadittaviin kulmiin ei kuitenkaan onnistunut, koska putket murtuivat taivutettaessa, joten putkistoa varten 3D-mallinnettiin kuvan 51 kaltaiset ruuvisyöttöihin kiinnitettävät adapterit, joihin putket kiinnitettiin. Adaptereiden kulmat selvitettiin Solidworks-ohjelman avulla piirtämällä aikaisemmin mallinnetun kehikon 3D-malliin koordinaattipisteitä ruuvisyöttöjen ja suppilon kohdalle. Pisteiden välille mallinnettiin viivoja, joiden

avulla tarvittavat kulmat saatiin hahmoteltua. Putkiadaptereita mallinnettiin kolme erilaista: 133 asteen, 138 asteen ja 141 asteen kulmiin taivutetut adapterit. Adaptereiden ulkohalkaisija on 45 mm.



Kuva 51. Ruuvisyöttöön kiinnitetty valkoinen putkiadapteri.

Putkiadapterit mallinnettiin siten, että ne olisivat tarvittaessa helposti irrotettavissa ruuvisyötöistä esimerkiksi puhdistusta varten. Adapterien takaosassa ovat kaksi klipsiä pysyvät tukevasti kiinni ruuvisyötössä, eikä kiinnitykseen vaadittu ruuveja. Kuvassa 52 on esitetty kolmeen eri kulmaan mallinnetut putkiadapterit kiinnitettynä ruuvisyöttöihin. Alumiiniputket kiinnitettiin putkiadaptereihin 4 mm:n ruuveilla.



Kuva 52. Putkiadapterit kiinnitettynä ruuvisyöttöihin.

Laitteen testivaiheessa kuitenkin huomattiin, että syötettävää jauhetta jäi putkiin huomattavan suuri määrä vielä sen jälkeen, kun jauhetta oli syötetty vaa`alle haluttu määrä. Tämä putkiin jäänyt jauhe sitten kulkeutui tärinän voimasta vaa`alle toista jauhetta syötettäessä ja aiheutti virhettä jauheiden annostelussa.

Ruuvisyöttöihin mallinnetut adapterit päätettiin sijoittaa kuvassa 53 esitetyllä tavalla siten, että ne kiinnittyvät ruuvisyöttöjen yläosaan.



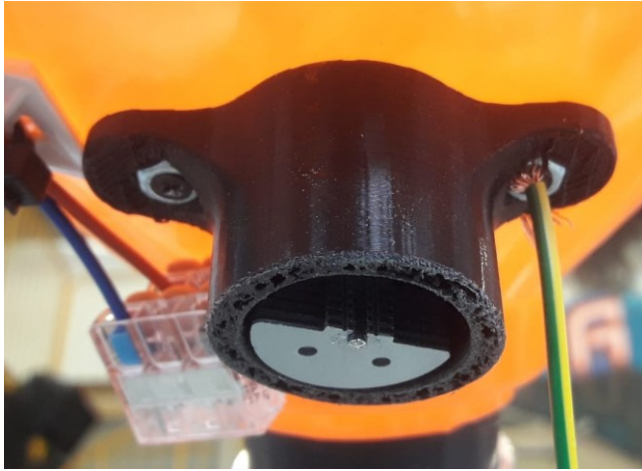
Kuva 53. Ruuvisyöttöjen adapterit uudelleensijoitettuna.

Tämä ratkaisu mahdollisti sen, että alumiiniputkien suut kiinnittyivät suoraan jauhesäiliöiden suppiloihin, ja ruuvisyöttöillä pystyttiin syöttämään jauheita suoraan vaa`an päällä olevaan suppiloon.

6.7.2 Tärinämoottorit

Laitetta testattaessa huomattiin, että testauksessa käytettävä hienojakoinen jauhe paakkuuntuu herkästi jäaden jumiin säiliöön ja syöttöputkeen. Tätä varten hankittiin tärinämoottoreita, joiden avulla jauhe saatiin liikkeelle. Projektissa käytetyt tärinämoottorit ovat tavallisia 5 V:n DC-moottoreita, joiden akselissa on toispuoleinen paino, mikä saa moottorin täriseämään. Tärinämoottoreissa itsessään ei ollut kiinnitysominaisuutta, joten moottoreiden kiinnitystä varten 3D-

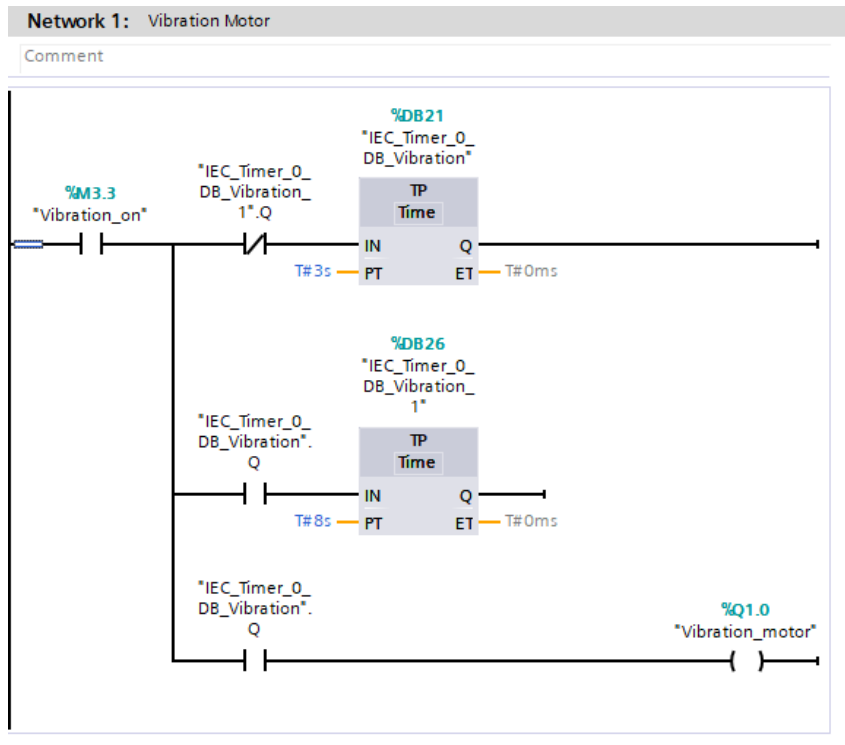
mallinnettiin Solidworks-ohjelmalla kuvan 54 mukaiset kiinnikkeet, jotka voidaan kiinnittää ruuveilla esimerkiksi reikälankaan tai suoraan tärisytettävään kappaleeseen.



Kuva 54. Tärinämoottori kiinnitettynä jauhesäiliöön.

Tärinämoottorit kiinnitettiin säiliöiden alaosaan asennettuihin suppiloihin, jolloin moottoreiden havaittiin tärisyttävän sopivan verran sekä jauhesäiliöitä että syötöputkia, joiden kautta jauhe kuljetetaan vaaka-anturin päällä asennettuun suppiloon.

Tärinämoottoreita varten luotiin TIA-portaliin uusi toimilohko (kuva 55), jolla moottoreita ohjattiin. Ihanteellisessa tapauksessa vain syötettävän jauheen säiliöön kiinnitetty tärinämoottori olisi päällä jauhetta syötettäessä, mutta koska logiikkaohjaimen digitaaliset lähdöt eivät riittäneet tähän ratkaisuun, päätettiin tärinämoottoreiden ohjaus toteuttaa siten, että kaikki moottorit ovat päällä aina jauhetta syötettäessä.

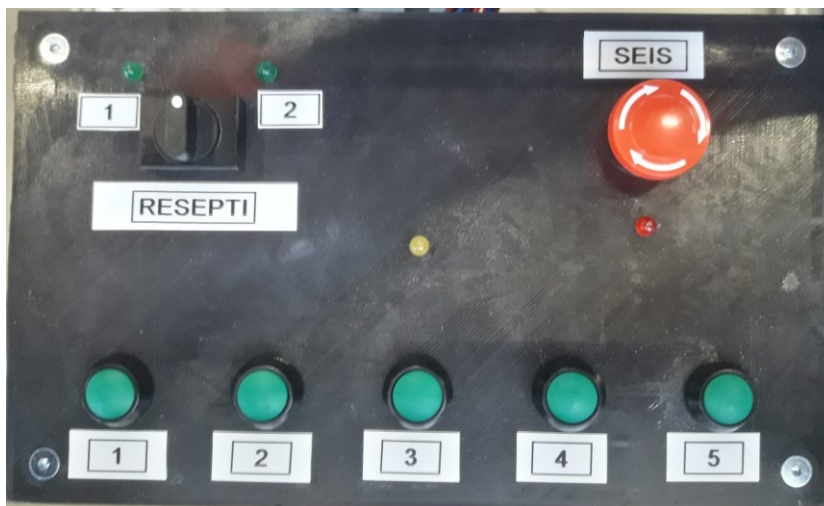


Kuva 55. Tärinämoottoreiden ohjaus.

Tärinämoottoreita varten luotiin kaksi ajastinta, joiden avulla moottoreita ohjattiin siten, että ne ovat päällä kolmen sekunnin jaksoissa kahdeksan sekunnin välein aina ruuvisyöttöjen pyöriessä.

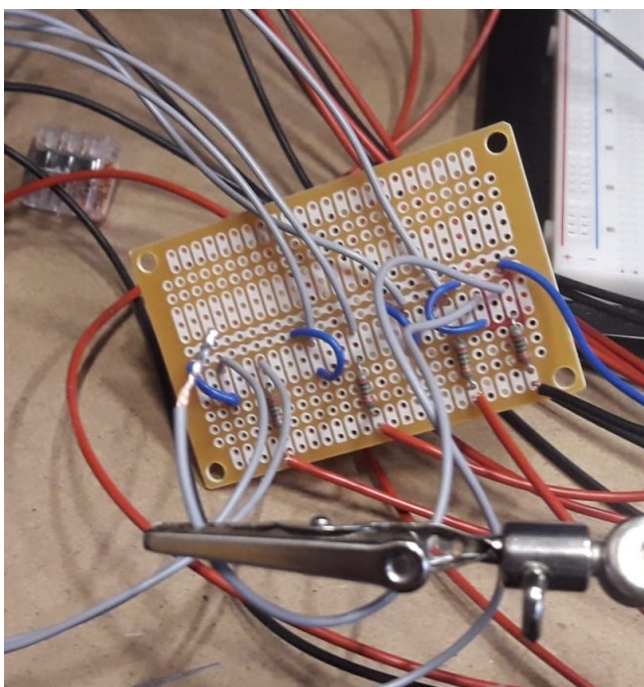
6.7.3 Sähköasennukset ja -kotelot

Laitteeseen rakennettiin ohjauspaneeli, jonka kautta käyttäjän on mahdollista hallita reseptinvalintaa sekä ruuvisyöttöjen ohjausta. Lisäksi ohjauspaneeliin sijoitettiin hätäseis-kytkin. Kuvassa 56 esitetyn ohjauspaneeliin reseptinvalintakytkimen yhteyteen asennetut vihreät led-valot ilmaisevat käyttäjälle, kumpi resepteistä on valittuna. Ohjauspaneelin keskellä sijaitseva keltainen led ilmaisee käyttäjälle, että laitteen suorittama prosessi on kesken. Hätäseis-kytkimen alle sijoitettu punainen led kytkeytyy päälle, kun hätäseis-kytkintä painetaan.



Kuva 56. Laitteen ohjauspaneeli.

Laitteen ohjauspaneelia varten rakennettiin kuvassa 57 näkyvä piirilevy, jonka kautta ledit on yhdistetty S7-1200-logiikkaohjaimen. Piirilevyyn tuotiin logiikkaohjaimelta 24 VDC:n jännite. Jokaisen jännitetulon ja 5 V:n ledin väliin kytkettiin 2200 Ohmin vastus, jotta ledille tuleva jännite putoaa sille sopivaksi.



Kuva 57. Ohjauspaneelin piirilevy ledeille.

Laitteen virtalähteenä käytettiin kaksikanavaista Balluff BAE0005 -virtalähdettä, jolla kyettiin muuttamaan 230 VAC:n jännite jauheannostelijalle sopivaksi 24

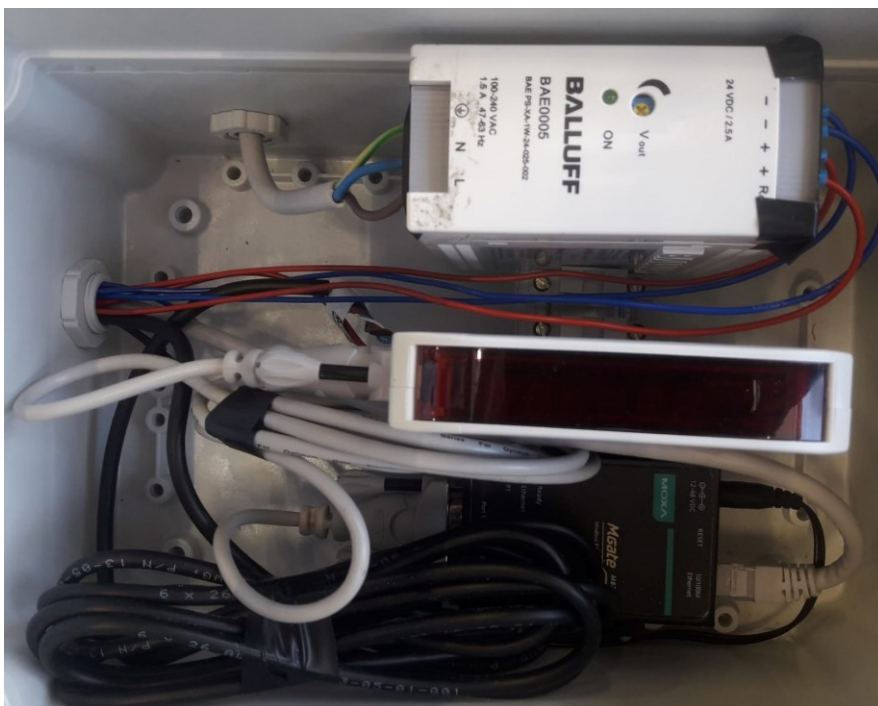
VDC:n jännitteeksi. Virtalähteen toisesta kanavasta tuotiin 24 VDC säädettävälle LM2596 DC/DC -muuntimelle, jonka kautta ohjattiin 8 VDC moottorinohjaukskorteille. Toisesta kanavasta tuotiin 24 VDC riviliittimeen, josta ohjattiin LM2596-muuntimen kautta 5 V:n jännite tärinämoottoreille.

Kahdelle LM2596-muuntimelle leikattiin lopuksi DIN-kiskon kiinnikkeistä kuvassa 58 näkyvät pidikkeet, joilla kortit saatiin kiinnitettyä kiskoon.



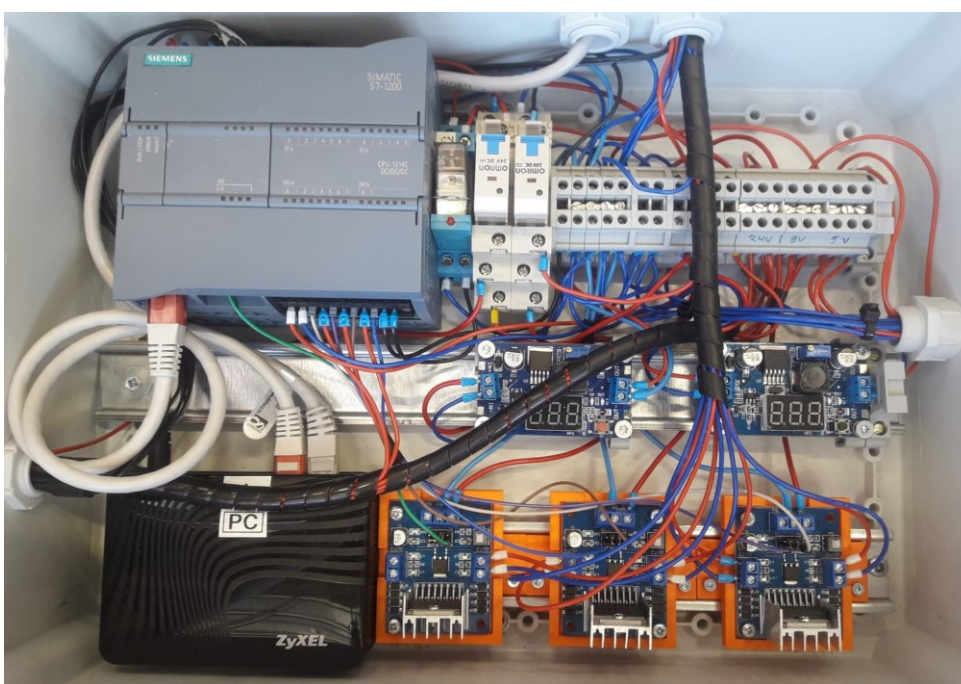
Kuva 58. LM2596-tehомуuntimien pidikkeet.

Laitteen runkoon kiinnitettiin kaksi IP65-luokan pölytiivistä asennuskoteloa, johon laitteen komponentit sijoitettiin. Kuvassa 59 esitettyyn pienempään koteloon (liite 1) asennettiin laitteen virtalähde, Penko SGM750 -vaakavahvistin sekä Moxa mb3180 -Modbus-yhdyskäytävä. DIN-kiskoon asennettu SGM750-vaakavahvistin oli koteloon liian korkea, joten asennuskoteloon lisättiin korokepala, jolla kotelon kantta saatiin korotettua.



Kuva 59. Pienempi asennuskotelo.

Kuvassa 60 esitettyyn isompaan asennuskoteloon (liite 2) sijoitettiin Siemensin s7-1200-logiikkaohjaimen lisäksi ruuvisyöttöjen ja tärinämoottoreiden ohjauksessa käytettävät releet, moottorinohjaukskortit, reititin sekä riviliitin, jonka kautta suurin osa sähkökytkennöistä tehtiin.



Kuva 60. Isompi asennuskotelo.

6.8 Laitteen testaus

Automatisoidulla jauheannostelijalla suoritettiin kokoamisvaiheen jälkeen Metropolian tiloissa lyhyt testijakso. Laitteen toimintaa testattiin Lumirin toimittamalla hienojakoisella jauheella, joka on yksi akustiikkamassan valmistuksessa käytävistä raaka-aineista. Testijakson tuloksena todettiin, että laite toimii suunnitellun mukaisesti ja sillä pitäisi pystyä automatisoimaan osa akustiikkamassan valmistusprosessista.

Laitteen syöttämät jauheet pystyttiin annostelevaan parhaimmillaan noin gramman tarkkuudella, mutta tarkkuus vaihteli hieman testikertojen välillä. Tämä johtui luultavasti vaakapäänteen asetuksista sekä kuormitusanturin päälle asennetun suppilon reunoille jäävästä jauheesta, ja olisi korjattavissa erilaisella suppilolla sekä vaakapäänteen oikeaoppisella konfiguroinnilla. Testivaiheen aikana huomattiin myös, että laitteen suorittama prosessi on oletettua hitaampi johtuen pitkälti heikkotehoisista ruuvisyöttöjä ohjaavista DC-moottoreista. Projekti oli kuitenkin tässä vaiheessa jo myöhässä suunnitellusta aikataulusta, joten näitä ongelmia ei ehditty enää korjata.

Kun automatisoidun jauheannostelijan testivaihe Metropolian tiloissa oli saatu suoritettua ja kaikki laitteen osat oli saatu valmiiksi, oli laite aika siirtää Lumirin tiloihin täysmittaista testivaihetta varten. Jauheannostelija purettiin kuljetettavaksi soveltuviin osiin ja toimitettiin Lumirin tehtaalle, missä se asennettiin kuvassa 61 esitetyn akustiikkamassan valmistukseen tarkoitetun sekoituslaitteen yhteyteen.



Kuva 61. Jauheannostelija asennettuna Lumirin tiloihin.

Kun automatisoitua jauheannostelijaa testattiin Lumirin tiloissa, huomattiin että laitteella on mahdollista annostella akustiikkamassan valmistuksessa käytettäviä hienojakoisempia jauheita onnistuneesti, mutta karkeampia jauheita syötettäessä ruuvisyötöt jumituivat täysin. Tämä johtui luultavasti siitä, että karkeampien jauheiden rakeet pääsivät ruuvisyötön terän ja kotelon väliin jumittaen ruuvisyötön. Toiseksi ongelmaksi osoittautui jo aikaisempien testien aikana havaittu laitteen nopeus. Laitteen syöttämien suurempien punnitusmäärien vaatima aika oli niin suuri, että akustiikkamassan manuaalinen valmistusprosessi osoittautui yhä huomattavasti nopeammaksi vaihtoehdoksi.

7 Yhteenveto

Projektin tuloksena saatiin kehitettyä automatisoidusta jauheannostelijasta prototyyppi, jolla pitäisi esiin tulleiden ongelmien korjauksen jälkeen olla mahdollista automatisoida osa akustiikkamassan valmistusprosessista.

Prosessin nopeuttamiseksi laitteeseen tulisi vaihtaa tehokkaammat moottorit ruuvisyöttöjen ohjausta varten. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että tehokkaammat tasavirtamoottorit saattavat lyhentää 3D-tulostettujen ruuvisyöttöjen

käyttöikä. Ruuvisyöttöjen nopeuden ohjaus toteutettiin pulssinleveysmodulaatiolla. Työn tekijällä ei kuitenkaan ollut aiheesta aikaisempaa kokemusta, joten on mahdollista, että logiikkaohjaimen PWM-asetusten uudelleenmäärittäminen voisi vaikuttaa annosteluprosessin nopeuteen. Ruuvisyöttöjen jumiutuminen karkeampia jauheita syötettäessä voidaan luultavasti ratkaista hiomalla jo olemassa olevien ruuvisyöttöjen syöttöruuveja niin, että suuremmat rakeet eivät jumiuudu ruuvin terän ja ruuvisyötön kotelon väliin. Toisena vaihtoehtona on mallintaa uudet, karkeammille jauheille sopivat syöttöruuvit.

Projektin aikana jauheen syöttämistä olisi kannattanut testata useammalla eri raekoon omaavalla jauheella. Nyt jauheen syöttämistä testattiin ainoastaan hienojakoisella jauheella, mistä johtuen ruuvisyöttöjä ei osattu mitoittaa karkeampia jauheita varten.

Laitteella saavutettu punnitustarkkuus oli riittävä, mutta tarkkuus vaihteli hieman testien välillä. Vaikka vaihtelu oli niin vähäistä, ettei sillä varsinaisesti ole vaikutusta valmistettavan akustiikkamassan koostumukseen, tasaisempi punnitustarkkuus olisi saavutettavissa pienillä korjauksilla. Kuormitusanturin päälle asennettu suppilo voitaisiin vaihtaa paremmin tarkoitukseen soveltuvaksi ja projektissa käytettävä Penko SGM 750 -vaakavahvistin tulisi konfiguroida ammattilaisen toimesta.

Projektin aikana osoitettiin, että Moxan Modbus-yhdyskäytävällä on mahdollista liittää Siemensin Simatic S7-1200 -logiikkaohjaimen Modbus RTU -protokollaa tukevia laitteita ilman Siemensin valmistamia Modbus-moduuleja. Tästä voi olla hyötyä tilanteissa, joissa Modbus-kommunikaatioon vaadittavia komponentteja ei ole saatavilla.

Mielestäni projektissa saavutettiin sille asetetut tavoitteet sekä valmistuneen prototyypin että projektin aikana tapahtuneen oppimisen suhteen, ja olin projektin lopputulokseen tyytyväinen. Opin projektin aikana erityisesti Modbus-protokollan sekä pulssinleveysmodulaation hyödyntämisestä ja lisäksi syvensin osaamistani ohjelmoitavien logiikoiden sekä sähkökytkentöjen osalta.

Aikatauluongelmista huolimatta myös asiakas oli laitteeseen tyytyväinen ja ilmaisi kiinnostusta projektin jatkamiselle.

Jos projektia lähdetään kehittämään eteenpäin, ensimmäisiksi kehityskohteiksi kannattaa luultavasti ottaa projektissa käytetyt ruuvisyötöt. Näiden lisäksi laitteeseen voitaisiin kehittää joustavampi käyttöliittymä sekä reseptisysteemi hyödyntämällä TIA-portalin sisäänrakennettua HMI- sekä reseptiominaisuutta.

Virtaavien aineiden annostelun automatisointi olisi mahdollista toteuttaa hyödyntämällä virtausmittaria ja magneettiventtiiliä. Projektin aikana ehdittiin testata virtausmittarin integroimista ohjelmoitavaan logiikkaan ja tästä saatiin lupaavia tuloksia. Lähes kaikki projektissa käytetyn S7-1200-logiikkaohjaimen digitaaliset lähdöt ovat kuitenkin tällä hetkellä jo käytössä, joten uuden käyttöliittymän toteutus sekä virtaavien aineiden automatisointi vaatisivat luultavasti logiikkaohjaimen päivittämisen tai rinnakkaisen S7-1200-mallin käyttöönoton.

Lähteet

- 1 Big-Flash – kestävästi kohti kilpailukykyä. Verkkoaineisto. Big-Flash-hanke. <<https://bigflash.metropolia.fi/hanke/>>. Luettu 20.6.2023.
- 2 Luonnollista akustiikkaa kaikkiin tiloihin. Esteettisesti, ekologisesti ja kestävästi. Verkkoaineisto. Lumir Oy. <<https://lumir.fi/>>. Luettu 20.6.2023.
- 3 Luonnollinen äänimaisema Lumirin akustiikkaratkaisulla. Verkkoaineisto. Lumir Oy. <<https://lumir.fi/lumir-tuotteet/>>. Luettu 20.6.2023.
- 4 Lumir – ruiskutus kovalle pinnalle. 2021. Verkkoaineisto. Lumir Oy. <https://lumir.fi/wp-content/uploads/2021/10/Lumir-ruiskutus-kovalle-pinnalle_08-1.pdf>. 14.4.2021. Luettu 20.6.2023.
- 5 Environmental product declaration. 2021. Verkkoaineisto. Lumir Oy. <https://lumir.fi/wp-content/uploads/2021/12/rts_162_21-one-click-lca-lumir-epd_20211208.pdf>. 24.11.2021. Luettu 20.6.2023.
- 6 Introduction to MODBUS TCP/IP. Verkkoaineisto. Prosoft-technology.com. <https://www.prosoft-technology.com/kb/assets/intro_modbustcp.pdf>. Luettu 20.6.2023.
- 7 Modbus Organization Replaces Master-Slave with Client-Server. 2020. Verkkoaineisto. Modbus.org. <<https://modbus.org/docs/Client-ServerPR-07-2020-final.docx.pdf>>. 9.7.2020. Luettu 20.6.2023.
- 8 Modbus TCP/IP Functions. Verkkoaineisto. Schneider-electric.com. <<https://www.productinfo.schneider-electric.com/ecostruxurepanelserver-guide/doca0172-ecostruxure-panel-server-user->

- guide/English/DOCA0172%20EcoStruxure%20Panel%20Server%20Universal%20User%20Guide_0000492433.xml/\$/EcoStruxurePanelServer_Modbus_TCP-IP_Functions_0000597709>. Luettu 15.8.2023.
- 9 MODBUS over Serial Line. 2006. Verkkoaineisto. Modbus.org. <https://modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf>. 20.12.2006. Luettu 20.6.2023.
 - 10 MODBUS Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b. 2006. Verkkoaineisto. Modbus.org. <https://modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf>. 24.10.2006. Luettu 20.6.2023.
 - 11 Upadhyay, Jayesh. 2022. What is a PWM signal? Verkkoaineisto. Circuitbread.com. <<https://www.circuitbread.com/ee-faq/what-is-a-pwm-signal>>. 14.2.2022. Luettu 20.6.2023.
 - 12 Barr, Michael. 2001. Introduction to Pulse Width Modulation (PWM). Verkkoaineisto. Barrgroup.com. <<https://barrgroup.com/Embedded-Systems/How-To/PWM-Pulse-Width-Modulation>>. 1.9.2001. Luettu 20.6.2023.
 - 13 S7-1200 Easy Book. Verkkoaineisto. Siemens. <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/145/39710145/att_5787/v1/s71200_easy_book_en-US_en-US.pdf>. Luettu 20.6.2023.
 - 14 Ligo, George. PWM: Pulse Width Modulation. 2012. Verkkoaineisto. Electrosome.com. <<https://electrosome.com/pwm-pulse-width-modulation/>>. 9.10.2012. Luettu 21.6.2023.
 - 15 SIMATIC throughout history. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://www.siemens.com/global/en/company/about/history/specials/60-years-of-simatic.html>>. Luettu 20.6.2023.

- 16 TIA-portal, Versio 16. 2023. Siemens.
- 17 6ES7232-4HA30-0XB0. 2023. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatasheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3DMall%26mlfbs%3D6ES7232-4HA30-0XB0%26language%3Den>>. Päivitetty 16.8.2023. Luettu 20.6.2023.
- 18 For an S7-1200/S7-1500 controller in STEP 7 (TIA Portal), how do you scale integer values in real numbers and vice versa for analog inputs and outputs? 2016. Verkkoaineisto. Siemens.com. <[https://support.industry.siemens.com/cs/document/39334504/for-an-s7-1200-s7-1500-controller-in-step-7-\(tia-portal\)-how-do-you-scale-integer-values-in-real-numbers-and-vice-versa-for-analog-inputs-and-outputs-?dti=0&lc=en-TW](https://support.industry.siemens.com/cs/document/39334504/for-an-s7-1200-s7-1500-controller-in-step-7-(tia-portal)-how-do-you-scale-integer-values-in-real-numbers-and-vice-versa-for-analog-inputs-and-outputs-?dti=0&lc=en-TW)>. 4.1.2016. Luettu 20.6.2023.
- 19 Screw Conveyors: an overview. Verkkoaineisto. Powderprocess.net. <https://www.powderprocess.net/Equipments%20html/Screw_Conveyor.html>. Luettu 20.6.2023.
- 20 Screw Conveyors. Verkkoaineisto. Iqsdirectory.com. <<https://www.iqsdirectory.com/articles/screw-conveyors.html>>. Luettu 20.6.2023.
- 21 DC Motors. Verkkoaineisto. Iqsdirectory.com. <<https://www.iqsdirectory.com/articles/electric-motor/dc-motors.html>>. Luettu 20.6.2023.
- 22 Strain Gauges. N.d. Verkkoaineisto. Allaboutcircuits.com. <<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>>. Luettu 20.6.2023.
- 23 Load Cell Technology. 2017. Verkkoaineisto. VPG Force Sensors. <http://docs.vpgtransducers.com/?id=2766&_gl=1*1d34h1i*_ga*NzEz-Njc4MzQyLjE2ODY4MzI1MDc.*_ga_JVJNRP2P4F*MTY4NjgzMjUwNy4>

xLjEuMTY4NjgzMjYyNi4xMy4wLjA>. Päivitetty 14.9.2017. Luettu 20.6.2023.

24 VPG Tedeo-Huntleigh 1042 Aluminum, Single Point Load Cell. Verkkoaineisto. Arlingtonscales.com. <<https://www.arlingtonscales.com/content/uploads/2020/05/2020-1042.pdf>>. Luettu 20.6.2023.

25 SGM700 Digitizer. Verkkoaineisto. PENKO Engineering B.V. <https://penko.com/workarea/DownloadAsset.aspx?id=10737431484>. Luettu 20.6.2023.

26 Pi mach 2, Versio 01.06. 2023. Penko engineering B.V.

27 MGate MB3000 Modbus Gateway User's Manual. 2019. Verkkoaineisto. Moxa. <<https://www.moxa.com/getmedia/c99d0897-cfd2-4f45-80f3-a9247b89fc14/moxa-mgate-mb3180-mb3280-mb3480-series-manual-v11.2.pdf>>. Luettu 20.6.2023.

28 MGate Manager. Versio 2.3. 2023. Moxa.

29 Modbus Poll. Versio 10.0.0. 2023. Witte Software.

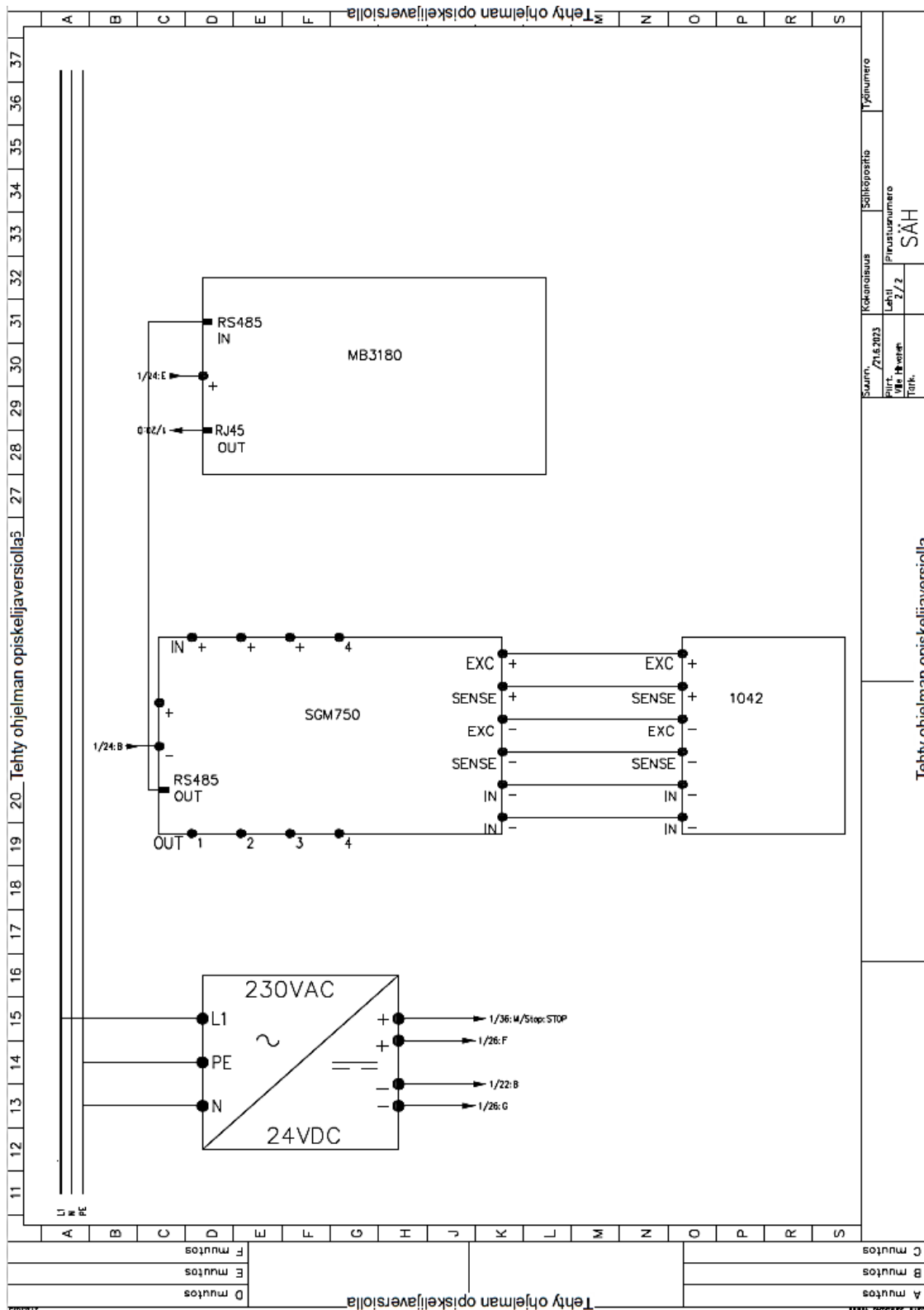
30 L298N Dual H-Bridge Motor Control Module. Verkkoaineisto. Protosupplies.com. <<https://protosupplies.com/product/l298n-dual-h-bridge-motor-control-module/>>. Luettu 20.6.2023.

31 Interface L298N DC Motor Driver Module with Arduino. Verkkoaineisto. Lastminuteengineers.com. <<https://lastminuteengineers.com/l298n-dc-stepper-driver-arduino-tutorial/>>. Luettu 20.6.2023.

32 Dahl, Øyvind Nydal. 2018. What Is an H-Bridge? Verkkoaineisto. Build-electronic-circuits.com. <<https://www.build-electronic-circuits.com/h-bridge/>>. 5.12.2018. Luettu 20.6.2023.

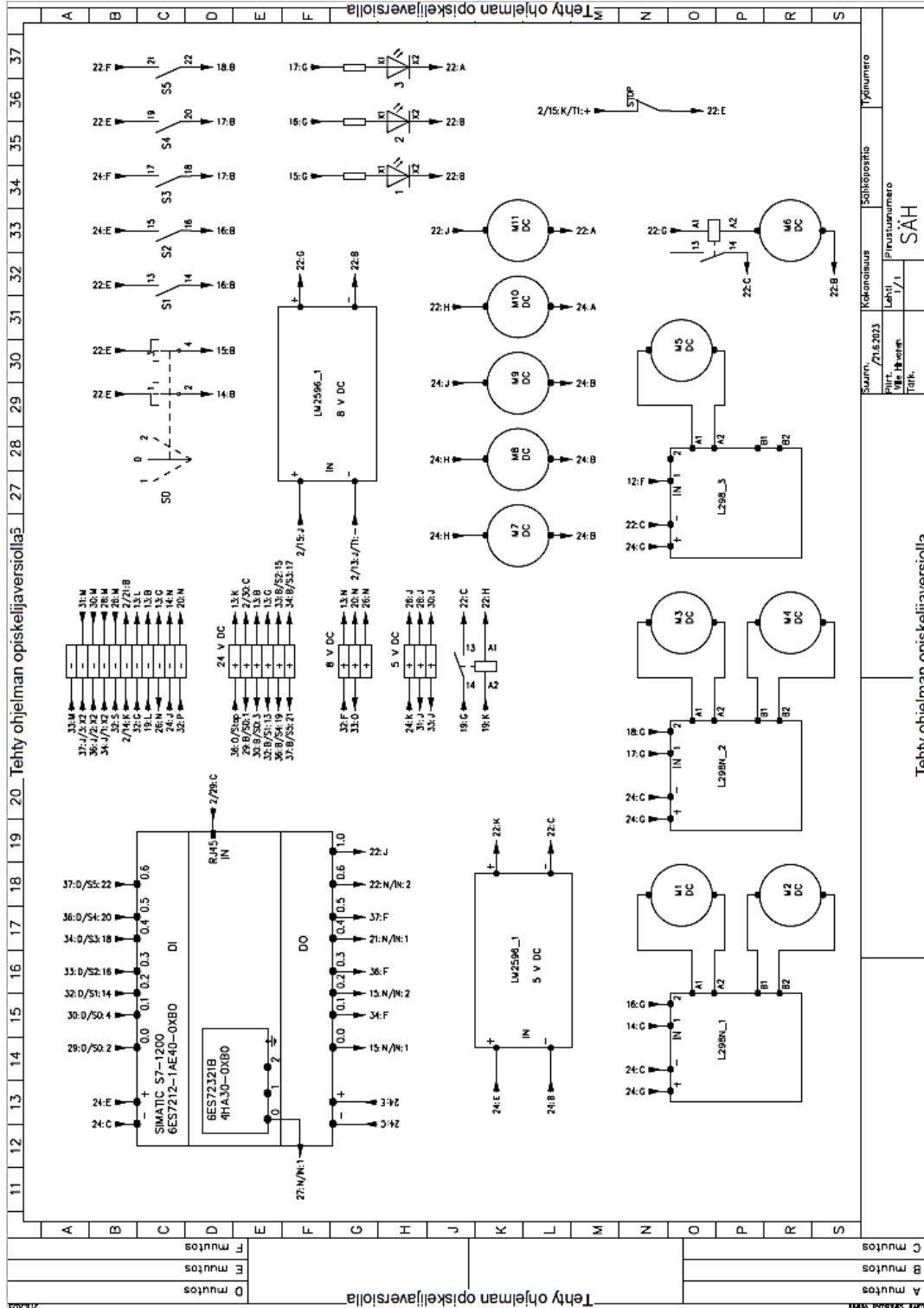
Sähkökuva 1

Pienen asennuskotelon sähkökuva.



Sähkökuva 2

Ison asennuskotelon sähkökuva.



Tehty ohjelman opiskelijaversiolia												Tehty ohjelman opiskelijaversiolia											
A muutos												A muutos											
B muutos												B muutos											
C muutos												C muutos											
D muutos												D muutos											
E muutos												E muutos											
F muutos												F muutos											
G muutos												G muutos											
H muutos												H muutos											
I muutos												I muutos											
J muutos												J muutos											
K muutos												K muutos											
L muutos												L muutos											
M muutos												M muutos											
N muutos												N muutos											
O muutos												O muutos											
P muutos												P muutos											
Q muutos												Q muutos											
R muutos												R muutos											
S muutos												S muutos											

Suunn. / 21.6.2023		Sähköpiirros		Työnumero	
Pih. / 1/1		Lehti		Pirstusnumero	
Mitt. / 1/1		SÄH			