



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Markus Peltonen

---

## Mobilehydrauliikan ohjausyksikön käyttöönotto

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Markus Peltonen

Työn nimi: Mobilehydrauliikan ohjausyksikön käyttöönotto

Ohjaaja: Jussi Mäkitalo

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 33

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Lakeuden Hydro Oy, joka toimii Vaasassa sekä Seinäjoella. Lakeuden Hydro Oy on muun muassa hydraulikkakoneiden huoltaja ja tuottaja. Opinnäytetyön aihe syntyi toimeksiantajan puolelta ja toimeksiantaja oli vahvasti tukemassa prosessin etenemistä laitteiden ja tarvittavan tiedon puitteissa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten luoda ohjausyksikköön ohjelma, jolla voidaan ohjata raskaankaluston isoja hydraulikkakokonaisuuksia. Työn tavoitteena oli auttaa toimeksiantajaa löytämään ratkaisu, josta yritys voi hyötyä tulevaisuudessa, sekä rakentaa kokonaiskäsitys prosessista, jossa luodaan ja käyttöönotetaan ohjelma ohjausyksikköön.

Työssä käydään läpi koneenohjausjärjestelmän pääkäsitteet sekä esitellään CODESYS-sovellus, jota käytettiin ohjelman kirjoittamisessa. Tämän lisäksi perehdytään laitteiston kommunikaatioon. Työhön käytetyt tieteelliset materiaalit ovat peräisin automaatiotekniikan kirjallisuudesta sekä yritysten ja valmistajien verkkosivuilta. Työssä käytettiin toimeksiantajan hankkimaa opetusmateriaalia koskien HY-TTC 510 -tuotetta.

Opinnäytetyön tavoitteeseen päästiin, sillä toimeksiantajalle saatiin luotua ohjelma ohjausyksikköön, joka suunniteltiin, toteutettiin ja testattiin. Työssä käytetty ohjelma dokumentoitiin ja tulokset työvaiheineen toimitettiin toimeksiantajalle. Tämä osa opinnäytetyöstä jäi salaiseksi liikesalaisuuksien sekä tietosuojan vuoksi.

<sup>1</sup> Asiasanat: CODESYS, mobilehydrauliikka, ohjelmointi, sulautettu järjestelmä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Markus Peltonen

Title of thesis: Implementation of the mobile hydraulics control unit

Supervisor: Jussi Mäkitalo

Year: 2023

Number of pages: 33

Number of appendices: 0

---

The thesis was commissioned by Lakeuden Hydro Oy, which operates in Vaasa and Seinäjoki. The business of Lakeuden Hydro Oy is to maintain and produce hydraulic machines. The subject of the thesis came from the client, and they strongly supported the progress of the process within the framework of the equipment and the necessary information.

The aim of the thesis was to create a program code for the control unit that can be used to control the hydraulic components of mobile hydraulics. The result was to help the client to find a solution that they can benefit from in the future and to build an overall understanding of the process of creating and deploying the program code to the control unit.

The theoretical background consisted of the main concepts of the machine control system and the introduction of the CODESYS application, which was used to write the program. In addition, the communication method used by the equipment was discussed. The theoretical background for the work consisted of the automation technology literature and the websites of companies and manufacturers. Moreover, teaching material obtained by the client, regarding the HY-TTC 510 product was included.

The objectives of the thesis were successfully achieved since the program of the control unit was created. The program was designed, implemented and tested. The final program code delivered to the client and this part of the thesis cannot be published due to business secrets and data protection.

<sup>1</sup> Keywords: CODESYS, mobile hydraulic, programming, embedded system

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne .....	9
1.4 Yritysesittely .....	9
2 KONEENOHJAUSJÄRJESTELMÄ.....	11
2.1 Sulautettu järjestelmä.....	11
2.2 Hydraulikka.....	12
2.3 Ohjausyksikkö .....	13
2.4 CODESYS-sovellus.....	15
3 LAITTEISTON KOMMUNIKAATIO .....	17
3.1 CAN-väylä .....	17
3.2 DI/DO .....	18
3.3 AI/AO.....	18
3.4 PWM .....	19
4 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS.....	21
4.1 Toteutuksen suunnittelu .....	21
4.2 Ohjelman suunnittelu ja kirjoitus.....	24
5 LAITTEISTON TESTAUS.....	27
5.1 KytKentä .....	27
5.2 Käytännön testaus.....	28

6 TULOKSET .....	30
7 YHTEENVETO .....	31
LÄHTEET .....	32

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. HY-TTC 510 -ohjausyksikkö .....	13
Kuva 2. Hydrauliiikkasylinteri .....	21
Kuva 3. Venttiilipöytä .....	22
Kuva 4. Ohjaussauva .....	23
Kuva 5. Paineanturi .....	24
Kuvio 1. Digitaalinen signaali .....	18
Kuvio 2. Analoginen signaali .....	19
Kuvio 3. Pulssinleveysmodulaatio .....	20
Kuvio 4. Sähkökaavio .....	27
Taulukko 1. HY-TTC 510 -ohjausyksikön sähköiset ja fyysiset ominaisuudet.....	15

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>AI</b>	Analoginen sisääntulo (Analog Input)
<b>AO</b>	Analoginen ulostulo (Analog Output)
<b>CAN</b>	Tietoliikenneväylä (Controller Area Network)
<b>DI</b>	Digitaalinen sisääntulo (Digital Input)
<b>DO</b>	Digitaalinen ulostulo (Digital Output)
<b>ECU</b>	Elektroninen ohjausyksikkö (Electronic Control Unit)
<b>I/O</b>	Sisään- ja ulostulo (Input/Output)
<b>IEC</b>	Sähköalan stantardointiorganisaatio (International Electrotechnical Commission)
<b>PWM</b>	Pulssileveysmodulaatio (Pulse-Width Modulation)
<b>USB</b>	Universaali sarjaväylä (Universal Serial Bus)

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Lakeuden Hydro Oy ostaa ulkoisilta toimijoilta ohjausyksikköohjelmat mobilehydrauliikkarakenteisiin, joilla ohjataan raskaankaluston isoja hydrauliikkakokonaisuuksia. Tuotteiden jatkuva kehitys sekä monipuolistaminen ovat tärkeä osa asiakkaiden palvelemista, ja näissä asioissa Lakeuden Hydro Oy haluaa olla alansa huipulla. Yrityksen tavoitteena on aikaisemmista toimintatavoistaan poiketen tulevaisuudessa tuottaa itsenäisesti ohjausyksikköohjelmakoodeja. Näin he voivat vastata paremmin asiakkaiden tarpeisiin, jolloin asiakastytyväisyys ja asiakaskunnat laajenevat. Tämän lisäksi yritys pystyy kilpailemaan muun alan yritysten kanssa tuotevalikoimaansa laajentamalla. Asiakastytyväisyyden lisäksi ohjausyksikköohjelmien itsenäisellä tuottamisella voidaan pienentää yrityksen kuluja merkittävästi.

## 1.2 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on luoda ratkaisu toimeksiantajan haasteeseen, joka on esitetty edellisessä kappaleessa. Konkreettisen ohjelman luomisen lisäksi opinnäytetyön tavoitteena on luoda prosessin etenemisestä selvitystyö, jota toimeksiantaja voi tulevaisuudessa hyödyntää. Opinnäytetyössä luodaan mobilehydrauliikkakokonaisuuteen tarkoitettu ohjausratkaisu, joka ohjelmoidaan, käyttöönotetaan sekä testataan asennettuna erilliseen testauslaitteistoon. Kohdelaitteistona on toimeksiantajan valmistavat laitteistot, kuten raskaan kaluston päällysrakenteet, erilaiset laivat sekä maanrakennuskoneet. Tavoitteena on suorittaa käytännön testaus yrityksen tiloissa Vaasan toimipisteellä. Ohjausyksikön ohjelma kirjoitetaan valmiita kirjastoja hyödyntäen. Kirjastot eivät ole julkisessa käytössä vaan maksumuurin takana, jonka yritys on maksanut. Tästä syystä osa opinnäytetyöstä on salassa pidettävää tausta-aineistoa, jota ei voida julkaista. Opinnäytetyön tavoitteena on myös luoda ensiarvoisen tärkeää tietoa tulevaisuuden suunnitteluun sekä ohjausratkaisun jatkojalostamiseen. Mikäli työn eri vaiheista saadaan positiivisia kokemuksia ja riittävästi tietoa, on yrityksellä mahdollisuus tulevaisuudessa tuottaa ohjausratkaisut itsenäisesti.



### 1.3 Työn rakenne

Tämä työ koostuu johdannosta, jossa kerrotaan työn tausta, tavoite ja rakenne sekä esitellään työn toimeksiantaja. Toisessa luvussa kerrotaan koneenohjausjärjestelmästä ja esitellään järjestelmän kokonaisuus. Kolmannessa luvussa kuvataan laitteiston tässä sovelluksessa käyttämää kommunikaatiota. Tämän jälkeen siirrytään varsinaisesta teoriaosuudesta opinnäytetyön työstämisen eri vaiheisiin. Aluksi kuvataan ohjelman toteutusta, jossa esitellään ohjelman toiminta sekä käytettävät toiminnot. Viidennessä luvussa kuvataan laitteiston sähköinen kytkentä, ohjelman lataus sekä käytännön testaus. Luvussa kuusi tarkastellaan työn tuloksia sekä esitellään mahdolliset jatkokehitysmahdollisuudet. Viimeisessä luvussa pohditaan opinnäytetyön tuloksia.

### 1.4 Yritysesittely

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Lakeuden Hydro Oy. Yrityksellä on usean vuosikymmenen kokemus hydrauliiikan, pneumatiikan, teollisuusketjujen, laakereiden ja tiivistystarvikkeiden käsittelystä (Lakeuden Hydro, i.a.). Heidän toimialaansa kuuluu asiakkaiden toiveiden mukainen laitteiden suunnittelu, testaus sekä huolto. Yrityksellä on asiakkaita maanlaajuisesti, ja he pystyvät palvelemaan erilaisia asiakkaitaan nopeasti ja monipuolisesti maanparhaiden edustamiensa tuotteiden ansiosta. Yrityksen tavoitteenaan on palvella jokaista asiakasta tämän tarpeiden mukaan.

Lakeuden Hydro Oy Pohjanmaalla toimiva alansa ammattilainen (Lakeuden Hydro, i.a.). Yritys on perustettu vuonna 1971, ja se työllistää lähes 50 työntekijää. Aluksi he toimivat vain Seinäjoella, mutta viisi vuotta myöhemmin he avasivat liikkeen myös Vaasaan. Molemmat toimipisteet koostuvat myymälästä ja korjaamosta. Seinäjoen toimipisteessä valmistetaan lisäksi pienpuristimia, ja Vaasan toimipisteessä on tilat mobiilihydrauliikan laitteiden suunnitteluun.

Lakeuden Hydro Oy:lle on tärkeää asiakastyytyväisyys sekä pitkät asiakassuhteet, joita henkilökunnan käytännön kokemuksella ja tiedolla saadaan aikaan (Lakeuden Hydro, 2020). Näiden lisäksi tärkeänä arvona on ympäristöstä ja tulevaisuudesta huolehtiminen.

Lakeuden Hydro Oy noudattaa ympäristölainsäädäntöä tarkasti. He ovat luoneet yritykselleen ympäristöjärjestelmän jo vuonna 2000, ja se on myöhemmin sertifioitu. Ympäristön lisäksi työturvallisuus ja työsuojelu ovat oleellisia teemoja, joihin yritys panostaa.

## 2 KONEENOHJAUSJÄRJESTELMÄ

### 2.1 Sulautettu järjestelmä

Koskisen (2004, s. 7) mukaan mikrotietokoneet voidaan jakaa kahteen kategoriaan, joita ovat yleiskäyttöiset mikrotietokoneet sekä sulautetut järjestelmät. Yleiskäyttöisiä mikrotietokoneita löytyy markkinoilta esimerkiksi pelikoneista. Sulautetut järjestelmät ovat laitteita, joissa mikrotietokone on sulautettu osaksi laitteen elektroniikkajärjestelmää. Sulautetut järjestelmät eivät ole yleiskäyttöisiä, vaan ne on suunniteltu käytettäväksi johonkin erityistar-koitukseen.

Voidaan sanoa, että sulautettu järjestelmä on laite, joka koostuu elektroniikasta, mekaniikasta sekä ohjelmistosta, joka on suunniteltu kyseiselle laitteelle (Lehtonen ym., 2014, s. 10). Onnistuneelle sulautetulle järjestelmälle on tyypillistä, että käyttäjän ei tarvitse tiedostaa laitteen ohjelmiston luonnetta tai edes olemassaoloa, vaan se on sisällytetty tuotteen tai laitteen ominaisuuksiin. Useiden sulautettujen järjestelmien valmistuksessa on huomioitava energian rajallisuus, esimerkiksi akkujen koko. Sulautettuja järjestelmiä on maailmassa niin paljon kuin on elektroniikkaa. Yksinkertaisimmillaan sulautettuja järjestelmiä on havaittavissa sähköhammasharjoissa, kun taas monimuotoisimmat ja haastavimmat sulautetut laitteet ovat nykyaikaisten autojen ajonvakautusjärjestelmissä tai esimerkiksi lentokoneissa.

Lehtonen ym. (2014, s. 10) sanovat, että useiden sulautettuja järjestelmiä sisältäneiden laitteiden toteutus on ollut mahdollista vasta tekniikan kehittymisen jälkeen, jolloin sulautetun järjestelmänkin käsite on vakiintunut ja saanut merkityksensä. Näistä syistä yksittäistä vuosilukua sulautetun järjestelmän alulle ei osata sanoa. Kuitenkin laitteiden, jotka sisältävät mikrokontrollereita, voidaan ajatella olevan sulautettujen järjestelmien ensiedustajia.

Lehtonen ym. (2014, s. 11) kertovat, että sulautettujen järjestelmien kehityksessä voidaan puhua muutamasta eri mallista, joita ovat vesiputousmalli ja yhteissuunnittelu. Vesiputousmallissa ensimmäisenä vaiheena on järjestelmän määrittely ja suunnittelu. Järjestelmäsuunnitteluvaiheessa määritellään tarvittavat järjestelmän laitteisto- ja ohjelmisto-osat, joita

aletaan suunnitella. Kun osat on valmistettu toisistaan erillään, ne asennetaan toimimaan yhteen, ja tämän jälkeen järjestelmää voidaan testata kokonaisuudessaan. Yhteissuunnittelumallissa vesiputousmallista poiketen järjestelmää ja ohjelmistoa kehitetään rinnakkain ja yhdessä koko ajan. On kuitenkin tyypillistä, että osa-alueet muodostavat niin monimuotoiset kokonaisuudet itsessään, että yhteissuunnittelu ei ole täydellisesti mahdollista.

## 2.2 Hydrauliiikka

Kauranne ym. (2013, s. 1) kertovat, että hydraulijärjestelmää voidaan kuvailla tehonsiirto- ketjuna, jossa teho siirretään letkuja sekä putkia pitkin. Ensimmäisenä järjestelmä muuntaa järjestelmälle syötetyn mekaanisen tehon hydrauliseksi ja välittää sen oikeaan kohteeseen. Halutussa kohteessa teho muuttuu takaisin mekaaniseksi kunkin sovelluksen käyttötarkoi- tuksen mukaan. Tehon välittävänä aineena on neste, johon teho sitoutuu paineena ja tila- vuusvirtana. Hydraulisilla järjestelmillä on useita etuja verrattuna muihin tehonsiirtotapoihin. Näitä ovat esimerkiksi suunnittelun vapaus sekä toimintojen hyvät teho-painosuhteet. Koska tehon siirtäminen tapahtuu pienessä tilassa, suunnittelija ei ole sidoksissa tiettyyn tehonsiir- torataan. Järjestelmän komponenttien pieni koko takaa myös sen, että hydrauliikkajärjes- telmä tarvitsee pienemmän tilan kuin muut tehonsiirtojärjestelmät.

Kauranne ym. (2013, s. 1–2) toteavat hydrauliikkalaitteiden olevan kehittyneitä ja sähköisten järjestelmien löytäneen jalansijan hydrauliikkalaitteistoista. Tämä on mahdollistanut laittei- den monipuolistumisen sekä järjestelmäohjelmoinnin yksinkertaistumisen. Hydrauliiikka- suunnittelijalta vaaditaan nykyisin myös vahvaa sähkötekniikan, elektroniikan, ohjaus- ja säätötekniikan sekä ohjelmoinnin osaamista. Nykyaikainen hydrauliikkajärjestelmä koostuu ohjausjärjestelmästä sekä tehonsiirron perusjärjestelmästä. Ohjausjärjestelmä yksinkertai- simmillaan käyttää manuaalista ohjausta ja kehittyneimmillään mikroprosessiohjausta.

Kehityksen monipuolistumisen ansiosta hydrauliiikkaa on käytössä useilla eri teollisuuden aloilla, kuten työstökoneissa, autoissa, voimalaitoksissa, maa- ja metsätaloudessa, puristi- missa, kaivosteollisuudessa sekä lentokoneissa ja laivoissa (Kauranne ym., 2013, s. 2). Li- säksi viihde- ja huviteollisuudessa, kuten teattereissa ja huvipuistoissa, hydrauliiikka on

merkittävässä osassa. Mobilehydrauliikalla tarkoitetaan isoja liikkuvia kalustoja, joissa on hyödynnetty tehonsiirtona hydrauliikkaa. Tässä opinnäytetyössä keskitytään mobilehydrauliikkaan, jota toimeksiantaja tuottaa.

### 2.3 Ohjausyksikkö

TTCControl on maailmanlaajuinen yritys, joka tarjoaa täyden valikoiman mobiiliohjaimia sekä käyttöliittymiä (TTCControl, i.a.-c). Tässä työssä puhuttaessa ohjausyksiköstä, tarkoitetaan TTCControlin valikoimasta löytyvää sekä tässä työssä käytettyä HY-TTC 510 -ohjausyksikköä. Kuvassa 1 esitetään kyseinen HY-TTC 510 -ohjausyksikkö.



Kuva 1. HY-TTC 510 -ohjausyksikkö (TTCControl, i.a.-a).

TTC 500 -tuoteperhe tuottaa huippuluokan ohjausyksiköitä (TTCControl, i.a.-b). Tuoteperhe sisältää ohjausyksiköt HY-TTC 508, HY-TTC 510, HY-TTC 540, HY-TTC 580 sekä HY-TTC 590, joita käytetään monissa eri tarpeissa ja sovelluksissa. Tämän tyyliä koneita käytetään esimerkiksi rakennusteollisuudessa ja maataloudessa. Ohjaimet ovat vapaasti ohjelmoitavia, jotka koostuvat kaksisyrtimisistä ARM Cortex®-R4 -prosessoreista. Ohjaimet sopivat vaativiin ympäristöihin, sillä ne on suojattu kompaktilla mobiilikäyttöön soveltuvalla kotelolla. Ohjaimet voidaan ohjelmoida joko C- tai CODESYS-muodossa.

TTC 500 -ohjausyksiköt sisältävät erilaisia konfigurointivaihtoehtoja koskien jännitelähtöjä, digitaalilähtöjä sekä analogisia lähtöjä (TTControl, i.a.-b). Tästä syystä niitä voidaan soveltaa käytettäväksi useisiin huippuluokan sovelluksiin. Koneenohjausjärjestelmän arkkitehtuuri voidaan rakentaa esimerkiksi siten, että yksi HY-TTC 500 toimii keskitettynä ohjausyksikkönä.

HY-TTC 510 -ohjausyksikkö, jota tässä työssä käytetään, on huippuluokan elektronien ohjausratkaisu (TTControl, i.a.-a). Ohjaimen ytimessä on huipputehokas TMS570-suoritin, joka on suunniteltu käytettäväksi vaativiin kohteisiin. Taulukossa 1 esitetään HY-TTC 510 -ohjausyksikön sähköiset ja fyysiset ominaisuudet.

Taulukko 1. HY-TTC 510 -ohjausyksikön sähköiset ja fyysiset ominaisuudet (mukailien TTControl, i.a.-a).

Ominaisuus	Yksikkö
Ulkomitat	231,3 x 204,9 x 38,8 mm
Paino	1200 g
Liitin	154 pinniä
Käyttölämpötila	-40 - +85 °C
Käyttökorkeus	0-4000 m
Syöttöjännite	8-32 V
Maksimisyöttöjännite	45 Vmax
Syöttövirta 12/24 V	400 / 200 mAmax
Valmiustilan virta	<1 mAmax
Virta täydellä kuormalla	40 Amax

## 2.4 CODESYS-sovellus

CODESYS-sovellus on markkinoiden laajimmin käytetty valmistajariippumaton kehitysjärjestelmä, joka noudattaa standardia IEC 61131-3 (CODESYS, i.a.). Sovellus on suunniteltu automaatioprojektin tarpeisiin, ja se kattaakin kaikki ohjelmointipuolet, kuten integroidun yhteyden kaikkiin vakiokenttäväyläjärjestelmiin, integroidun visualisoinnin, turvallisuusratkaisut, tietoliikennerajapinnan sekä ratkaisun, jolla voidaan mahdollistaa laitteiden etähallinta.

Sovelluksen kehittäjä ja markkinoija on määrätietoinen ja markkinoidensa parasta laatua takaava yritys (CODESYS, i.a.). Alun perin CODESYS-sovellusta tuotti vuonna 1994 perustettu yritys 3S-Smart Software Solutions, joka on myöhemmin tullut osaksi CODESYS

GmbH:ta. He ovat vastanneet asiakkaiden tarpeisiin kokeneella ja koulutetuilla ammattilaisilla jo 20 vuoden ajan. Yrityksen tärkeinä arvoina on kuunnella asiakkaita ja vastata heidän tarpeisiinsa.



### 3 LAITTEISTON KOMMUNIKAATIO

Seuraavissa alaluvuissa esitellään työssä käytetyt sekä siinä esiintyvät sisään- ja ulostulotyytit, josta tulee lyhenne I/O. Näitä ovat CAN-väylä, digitaalinen (DI/DO) ja analoginen (AI/AO) sisään- ja ulostulo sekä pulssileveysmodulaatio (PWM).

#### 3.1 CAN-väylä

CAN-väylä on viestipohjainen tiedonsiirtoväylä, joka välittää ohjainlaitteiden ja antureiden välistä kommunikointia luotettavalla tavalla (Smith, 2021). Ensimmäisen kerran CAN-väylää on käytetty 1980-luvulla, jolloin autonvalmistajat halusivat vähentää valmistamiensa autojen painoa polttoainetehokkuuden toivossa. Saksalainen Robert Bosch ja muut samankaltaiset yritykset alkoivat etsiä väyläviestintäjärjestelmää, joka voisi olla käytössä useiden ajoneuvojärjestelmien välillä. Koska markkinoilta ei löytynyt etsittyä tuotetta, he alkoivat kehittää Controller Area Networkia, josta nykyisin yleisessä käytössä oleva CAN-lyhenne juontaa juurensa. Vaikka CAN-väylä suunniteltiin alun perin autoteollisuuteen, ei sitä kuitenkaan käytetty siellä ensimmäisenä (CIA, i.a.). Sen sijaan ensimmäisen kerran CAN-väylä on ollut käytössä hollantilaisessa röntgenlaitteistossa, suomalaisessa hissiyhtiössä sekä ruotsalaisessa tekstiiliteollisuudessa. Kun Intel Corporationin luomia CAN-siruja alettiin käyttää autoteollisuudessa 1987, voidaan katsoa autoteollisuuden muuttuneen lopullisesti (Smith, 2021).

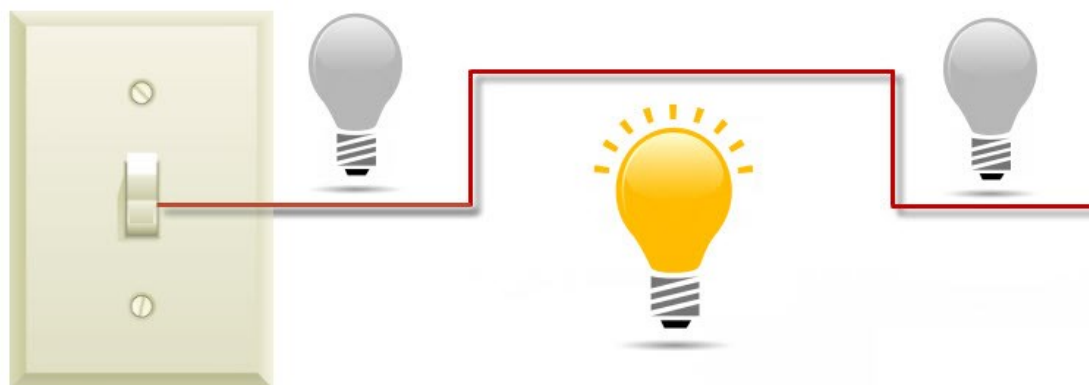
Smithin (2021) mukaan CAN-väylää käytetään edelleen ajoneuvoteollisuudessa, mutta myös muissa teollisuuden haaroissa se on hyvin yleisessä käytössä. CAN-väylä on käytössä esimerkiksi raskaankaluston telematiikassa, hisseissä, lentokoneissa, kaikenlaisissa tuotantolaitoksissa, laivoissa, lääketieteellisissä laitteissa, ennakoivassa huoltojärjestelmässä, pyykinpesukoneissa, kuivausrummuissa ja muissa kodinkoneissa.

Smith (2021) sanoo CAN-väylän käyttämiselle useissa koneissa ja ajoneuvoissa olevan monta syytä ja etua. Ensinnäkin se on helppokäyttöinen, helposti saatavilla oleva ja edullinen. Sen sijaan, että ECU:t kommunikoisivat monimutkaisten analogisten signaalilinjojen

mukaan, CAN-väylässä ECU:t kommunikoivat yhden järjestelmän kautta. Toisena etuna voidaan nähdä keskitetty kommunikoinnin sisääntulopiste. Tämä mahdollistaa sen, että yhden pisteen kautta kommunikoidaan kaikkien ECU:iden kanssa. Kolmantena on kestävyys. CAN-järjestelmä sietää sähköhäiriöitä ja -magneettisia häiriöitä, minkä ansiosta se on täydellinen valinta turvallisuuden kannalta kriittisiin sovelluksiin. Neljäntenä etuna voidaan nähdä alkuperäinen syy koko sovelluksen kehittämiseen eli kevyt paino. Viidentenä etuna on käyttöönoton helppous, jonka lisäksi sovelluksella on runsas tukijärjestelmä.

### 3.2 DI/DO

Digitaalinen sisääntulo ja ulostulo yhdessä on käytössä esimerkiksi ohjainten digitaalisessa kommunikaatiossa (Contec, i.a.-b). Digitaalinen sisääntulo, josta käytetään lyhennettä DI, mahdollistaa mittalaitteiden tilojen sekä erilaisten ohjauspiirien toimintakytkinten valvomisen. Digitaalista ulostuloa, josta käytetään lyhennettä DO, käytetään muun muassa lampujen, ledien, 7-segmenttisten näyttöjen sekä releiden ohjaamiseen. Kuviossa 1 esitetään yksinkertaistettuna, miten digitaalinen signaali käyttäytyy.



Kuvio 1. Digitaalinen signaali (AutomationDirect, 2023).

### 3.3 AI/AO

Analoginen sisääntulo, josta käytetään lyhennettä AI, vastaanottaa signaaleja antureilta, joilla mitataan esimerkiksi lämpötiloja, paineita ja virtausnopeuksia (Contec, i.a.-a).

Analoginen ulostulo, josta käytetään lyhennettä AO, ohjaa useimpia ohjaustoimilaitteita, jotka liikkuvat analogisen signaalin mukaan. On huomioitavaa, että esimerkiksi tietokone pystyy käsittelemään ainoastaan digitaalisia signaaleja. Tämän takia, kun signaalia syötetään anturista tietokoneelle, tarvitaan laite, jonka on mahdollista yhdistää analoginen signaali ja tietokoneen käsittelemä digitaalinen signaali. Tätä edellä kuvattua laitetta kuvataan analogiseksi I/O rajapinnaksi. Kuviossa 2 esitetään yksinkertaistettuna, miten analoginen signaali toimii.



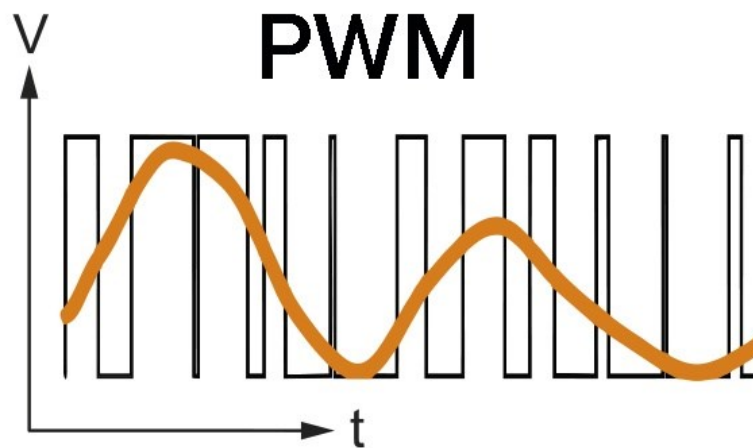
Kuvio 2. Analoginen signaali (AutomationDirect, 2023).

### 3.4 PWM

Schneehage (2018, s. 51–53) kertoo, että PWM-lyhenne, eli suomennettuna pulssinleveysmodulaatio, on tasavirtajännitettä, joka on syötetty pulsseina. Taajuus pulsseilla on kiinteä ja leveys muuttuva. Pulssin leveyttä voidaan muuttaa, jotta saadaan aikaan haluttu keskimääräinen virta. Puolestaan tätä säätämällä pystytään vaikuttamaan kytketyn toimilaitteen tehoon. Tämän tyyllisen pulssisuhdesäädön käyttö on yleistä esimerkiksi ajoneuvojen toimilaitteiden ohjauksessa, kuten magneettiventtiilit sekä sähkömoottorit.

PWM-tekniikalla on paljon hyötyjä verraten muihin tehon muunnostekniikkoihin, ja sen vuoksi se onkin hyvin yleisesti käytössä erilaisissa sulautetun järjestelmän sovelluksissa (Barr, 2001). Yhtenä hyötynä voidaan nähdä erittäin hyvä hyötysuhde, koska off-jakson aikaan virta ei pääse kulkemaan piirissä juuri ollenkaan. Toisena etuna voidaan nähdä

tekniikan digitaalisuus. PWM-signaali on kerrallaan joko täysin maatasossa tai käyttöjännitteen suuruinen. Tästä syystä sitä ei tarvitse muuttaa analogiseksi digitaaliselle ohjattavalle laitteelle mentäessä. Kuviossa 3 esitetään yksinkertaistettuna, miten pulssinleveysmodulaatio muodostuu.



Kuvio 3. Pulssinleveysmodulaatio (Thomson, i.a.).

## 4 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

### 4.1 Toteutuksen suunnittelu

Työ aloitettiin tapaamalla toimeksiantaja ja keskustelemalla hänen kanssaan projektin käyttöön tilattavista laitteista ja kohteista, mihin opinnäytetyössä suunniteltavaa laitetta asennetaan tai sen käyttöä sovelletaan sekä prosessin eri vaiheista. Toimeksiantajan Vaasan toimipisteellä sijaitsevaa hydraulikkalaitteiden testaushuonetta päätettiin käyttää hyväksi, ja toimeksiantaja lupautui toimittamaan sekä asentamaan kaikki tarvittavat komponentit hydraulikkajärjestelmään liittyen.

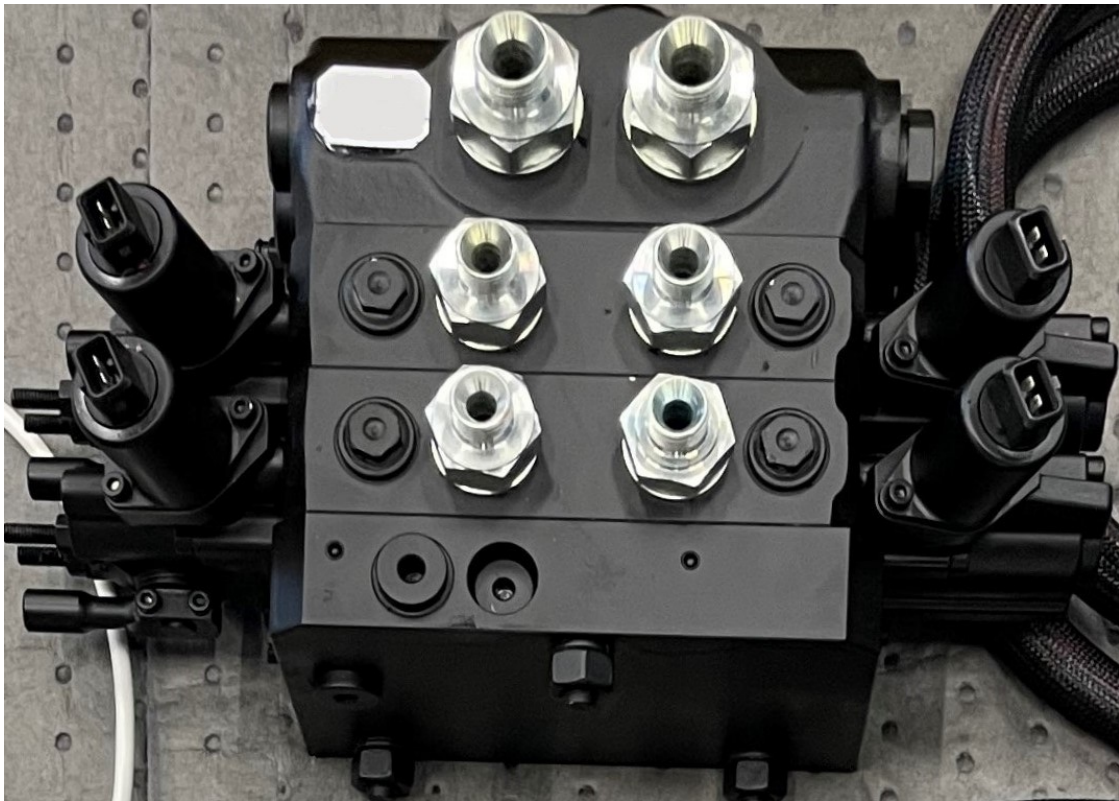
Ensimmäisenä alettiin pohtia, millainen järjestelmä simuloisi parhaiten toimeksiantajan tarpeita täyttävää kokonaisuutta, jotta jatkokehittäminen sekä ohjelmoinnista saatava tieto olisi parhaiten hyödynnettävissä. Komponentit päätettiin valita siten, että kohde simuloitaisiin vastaamaan hydraulista kuormausnosturia. Järjestelmään valikoitui kaksi hydraulikkasyylinteriä, jotka kuvastavat kuormausnosturin nostosylinteriä ja taittosylinteriä. Kuvassa 2 esiintyy sylinteri, jollaisia tässä työssä käytettiin.



Kuva 2. Hydraulikkasyylinteri (Peltonen, 2023).

Työhön valikoitui sylintereiden ohjaamiseen venttiilipöytä, joka on varustettu kahdella loholla. Kyseinen pöytä valikoitui käytännön syistä, joita ovat muun muassa aikaisemmat hyvät käyttökokemukset, toimeksiantajan hyvä tuotesaatavuus sekä hyvä hinta-laatusuhde.

Venttiilipöydässä oleva yksittäinen lohko ohjaa yhden sylinterin liikettä sisään ja ulos, minkä vuoksi lohkoja tarvitaan kaksi kappaletta. Lohkoissa olevaa liikkuvaa karaa, joka ohjaa varsinaisen hydraulikkaöljyn virtausta, ohjataan siihen liitettävällä PWM-solenoidilla. Molempien sylintereiden ohjaamiseen kahdella loholla tarvitaan siis neljä PWM-solenoidia. Kuvassa 3 on venttiilipöytä, johon on kiinnitetty PWM-solenoidit.



Kuva 3. Venttiilipöytä (Peltonen, 2023).

Hydraulisten komponenttien ollessa selvillä mietittiin laitteita, joilla sylintereitä halutaan ohjata. Toimeksiantajalla oli selvä päätös siitä, mitä ohjausyksikön tuoteperhettä työssä tullaan käyttämään. Ohjausyksikön HY-TTC 510 valinta perustui siihen, että vaikka se tähän sovellukseen on ylimitoitettu, voidaan sitä myöhemmin käyttää johonkin toimeksiantajan omaan käyttöön tulevaan vaativampaan testauslaitteistoon. Yleisesti mobilehydrauliikassa, jossa suoritetaan nostavia liikkeitä, kuten tässä simuloinnissa kuvastettavalla kuormausnostimella, käytetään liikkeiden ohjaamiseen ohjaussauvoja. Ohjausyksikön mallin ollessa tiedossa täytyi valita käytettävän ohjaussauvan kommunikointitapa. Jo aiemmin kerätty tieto

ohjausyksiköstä helpotti ohjaussauvan mallin valitsemista huomattavasti, koska tiedettiin laitteen vastaanottavan CANopen-tyyppistä viestiä. CANopen on yksi CAN-väylän kommunikointimenetelmiä. Ohjaussauvan valintakriteerit siis lopulta olivat liike kahteen eri suuntaan sekä CANopen-kommunikointi. Kuvassa 4 on ohjaussauva, jota tässä ohjauksessa on käytetty.



Kuva 4. Ohjaussauva (Peltonen, 2023).

Sylintereiden liikuttamiseen tarvittavien komponenttien valinnan jälkeen laitteistoon päätettiin liittää vielä paineanturit. Hydraulijärjestelmän painetta täytyy tarkkailla, jotta järjestelmän komponentit eivät vaurioituisi. Tarkkailu toteutetaan aina paineenrajoitusventtiileillä. Tässä työssä painetta tarkkailtiin lisäksi sähköisillä antureilla. Tarkkailusta saatavan tiedon perusteella ohjelman sallitaan vaikuttaa järjestelmän ohjaukseen. Laitteistoon valikoitui toimeksiantajan valitsemat yleisesti mobilehydrauliikassa käytössä olevat paineanturit. Syynä tähän valintaan oli aikaisemmat käyttökokemukset sekä hyvä saatavuus. Kuvassa 5 paineanturi on liitettynä hydraulikkajärjestelmään.



Kuva 5. Paineanturi (Peltonen, 2023).

## 4.2 Ohjelman suunnittelu ja kirjoitus

Laitteiston kaikkien komponenttien valinnan jälkeen perehdyttiin kirjallisuuteen, jota aiheesta ja peruskäsitteistä oli aikaisemmin luotu. Kun perustiedot oli kerätty, aloitettiin ohjausyksikön ohjelman ohjelmointi. Tämä työvaihe oli vaativa ja vaati suurimman osan opinäytetyön toteutukseen kuluva ajasta. Ohjelman tekeminen prosessina on kuvailtu tässä kappaleessa, mutta liikesalaisuuden vuoksi ohjelmaa tai sen mitään osia ei voida julkaista. Ohjelma kokonaisuudessaan kaikkine liitesivuineen on toimitettu toimeksiantajan käyttöön. Ohjelman suunnittelu ja kirjoittaminen koostui viidestä eri työvaiheesta, jotka on esitetty alla:

- suunnittelu
- uuden ohjelman luominen sekä profiilien lisääminen
- laitteiden parametrointi
- rakenteiden lisääminen ja ohjelman kirjoittaminen
- tarkastus.



Ensimmäisenä työvaiheena oli vaatimusten määrittely, joka aloitettiin keskustelemalla kaikista laitteelta vaadittavista tilanteista ohjaukseen liittyen. Laitteiston käyttäytymisen selvittäminen ohjaustilanteessa on kaikkein tärkein työvaihe ohjelmaa kirjoittaessa, koska suunnittelijan on tiedettävä, milloin ohjaussauvaa liikuttamalla saa ja/tai pitää tapahtua sylintereiden ohjauksessa muutoksia. Tämän kaltaiset tiedot ohjelman kirjoittamista aloittaessa helpottavat ohjelman tekoa, koska kun ohjelmoinnissa on vain yksi maali, ei reittejäkään sinne ole enää niin monta. Näin voitiin helpottaa suunnittelijan suunnittelutyötä.

Ohjausyksikön ohjelmointi aloitettiin luomalla uusi tyhjä ohjelma CODESYS-sovellukseen. Ohjelmaa luodessa valittiin oikeat asetukset kohdeohjausyksikköä varten. Ohjelmaan aloitettiin ohjelman luominen. Ohjelmaan lisättiin kaikkiin käyttöön tuleviin lähtöihin profiilit pinnien aktivoimista varten. Lähtöihin säädettiin niiden asetuksista oikeat parametrit kunkin liitettävän laitteen ohjekirjojen mukaan, jotta pystyttiin varmistamaan, että ne toimivat käytössä oikein. PWM-solenoidien käyttötaajuus sekä maksimivirta olivat parametroitavia arvoja. Analogitulon parametreista asetettiin ohjelma käyttämään paineantureille jatkuvaa mittaustapaa, koska turvallisuussyistä käytettäessä paineanturia mittaustiedon tulee olla täysin reaaliaikaista. Ohjaussauvan signaalin vastaanottamiseksi luotiin CAN-asetuksiin sauvan mukainen profiili, johon kaikki vastaanotettavat viestit oli määritetty. Tämän kaltainen profiili on aina käytäntönä CANopen-kommunikointitapaa käyttävissä laitteistoissa. Profiiliin voi joko itse luoda tai sen voi saada laitevalmistajalta.

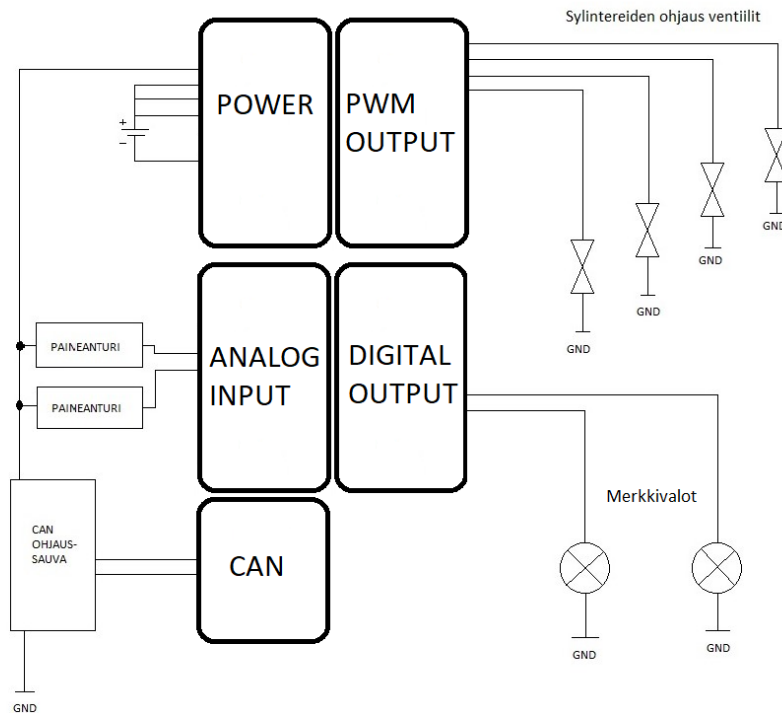
Seuraavassa vaiheessa lisättiin ohjelmaan rakenteita, jotka sisälsivät muuttujia, joita ohjelma käyttää erilaisten toimintojen suorittamisessa sekä keskustelussa eri ohjelmalohkojen välillä. Rakenteisiin luotiin itse kaikki muuttujat. Tämä työvaihe vaati suunnittelua, kehittämistä ja pohtimista, koska tämä työvaihe on täysin suunnittelijan omaa kädenjälkeä. Koko ohjelmassa on rakenteiden lisäksi pääohjelma, joka on koko ohjelmavirran ydin. Vaikka rakenteiden suunnittelussa ja kirjoittamisessa oli paljon työtä, pääohjelman kirjoittaminen oli kuitenkin kaikkein vaativin osuus. Pääohjelmassa liitettiin kaikki rakenteet lopulta yhteen. Rakenteiden sisään luotuja virtuaalimuuttujia liitettiin kaikkiin I/O-pinnien asetuksiin. Jokainen pinni käytiin yksi kerrallaan läpi, jotta tiedettiin, mihin pinniin mikäkin virtuaalimuuttuja kuuluu liittää.

Lopulta, kun ohjelma oli valmis, täytyi se tarkastaa huolellisesti. Tarkastusvaiheessa oli tärkeää tehdä mielikuvaharjoitus siitä, miten ohjelman tulisi toimia. Ohjelma käynnistettiin CODESYS-sovelluksessa ilman fyysistä rautaa. Näin pystyttiin muuttella muuttujia käsin ja samalla seurata ohjelman toimintaa sekä sitä, toimivatko kaikki ohjaukset oikein. Muuttujia muuttelemalla ja ohjelmaa tulkitsemalla tarkasteltiin yksi kerrallaan kaikkien lähtöjen toimintaa. Ohjelmassa yhdelläkin näppäilyvirheellä voi olla niin iso merkitys, että ohjelma ei joko toimi lainkaan tai ohjelman käytöksessä on merkittävä virhe. Vaikka ohjelma estää virheellisen ohjelman lataamisen ohjausyksikköön, voi virhe syntyä sellaiseen paikkaan, että lataaminen on kuitenkin mahdollista. Tästä syystä ohjelmaa tarkistaessa jokainen kirjain ja numero oli tarkastettava.

## 5 LAITTEISTON TESTAUS

### 5.1 KytKentä

Sähköinen kytkentä suunniteltiin laitevalmistajan ohjeiden mukaan. Laitteelle kytkettiin käyttöjännite ohjausyksikön miinus- sekä pluspinneihin. CAN-ohjaussauvaan kytkettiin ohjausjännite, miinus sekä CAN-väylän kaksi johdinta. Analogiset paineanturit kytkettiin AI-pinneihin sekä -ohjausjännitteeseen. Venttiilipöydän lohkojen PWM-solenoideihin kytkettiin ohjausyksikön PWM-lähdöt sekä käyttöjännitteen miinukset. Paineantureilla ohjattuihin merkivaloihin kytkettiin DO sekä käyttöjännitteen miinukset. Kuviossa 4 sähkökaavio, esitetään kokonaisuudessaan laitteiston sähkökaavio.



Kuvio 4. Sähkökaavio (Peltonen, 2023).

## 5.2 Käytännön testaus

Ohjelman suunnittelun ja sen tuottamisen jälkeen aloitettiin käytännön testaus toimeksiantajan tiloissa. Valmiin ohjelman testaaminen aloitettiin lataamalla ohjelma ohjausyksikköön. Ohjelma on toteutettu CODESYS-sovelluksessa, mikä teki ohjelman latauksesta melko yksinkertaista. Ohjelman lataus toteutettiin CAN-väylään liitettävällä CAN-USB-muuntimella. Muunnin kytkettiin tietokoneen USB-porttiin, ja näin saatiin yhteys CODESYS-sovelluksesta HY-TTC 510-ohjausyksikköön. CODESYS-sovelluksen valikosta avaamalla ”yhteys ohjausyksikköön” tietokone ilmoitti ohjausyksiköllä olevan ohjelman poikkeavan CODESYS-projektin ohjelmasta. Tämän jälkeen CODESYS-sovellus ehdotti tietokoneella olevan ohjelman lataamista ohjausyksikköön. Tämän hyväksymällä ohjelman lataaminen ohjausyksikköön alkoi. Ohjelman latauksen jälkeen ohjausyksikkö sulkeutui pysäytystilaan ja palautui käytettäväksi virtakatkon jälkeen.

Kun ohjausyksikkö palautui virtakatkon jälkeen käyttövalmiiksi, oli ohjelman lataus ja käyttöönotto kokonaisuudessaan valmis. Kun tietokone oli vielä kytkettynä ohjausyksikköön ja sylintereitä ajettiin, voitiin tietokoneen näytöltä seurata CODESYS-sovelluksen välityksellä reaaliajassa kaikkea tietoliikennettä ja sitä tietoa, joka kulki ohjausyksiköstä sisään ja ulos. Tästä syystä tietokone pidettiin koko testauksen ajan kytkettynä ohjausyksikköön.

Kaiken ollessa testauksessa käyttövalmiina aloitettiin järjestelmän ylösajo nostamalla hydraulipainetta. Kun paineet oli nostettu maltilliseksi ja todettu järjestelmässä olevan hydrauliliöljyä, aloitettiin sylintereiden liikuttaminen sisään ja ulos. Tämä tapahtui ohjaussauvaa liikuttamalla, jolloin järjestelmän venttiilipöydässä sijaitsevat PWM-solenoidit alkoivat avaamaan lohkojen sisällä olevaa karaa. Kun sylintereitä oli liikuteltu tarpeeksi ja kaikki ilma oli saatu hydrauliliöljyn seasta pois, nostettiin käyttöpainetta haluttuun korkeuteen. Tässä vaiheessa järjestelmä oli täydessä testausvaiheessa ja voitiin selvittää mahdollisia ohjelmavirheitä sylintereitä liikuttamalla.

Nopeasti kuitenkin huomattiin, että toinen sylinteri sisään ajaessa teki pienen virheliikkeen. Koska tietokone oli koko ajan kytkettynä, pystyttiin lukemaan ohjelmaa ja tarkastelemaan ohjelman reaaliaikaista toimintaa. Näin ollen ohjelmasta pystyttiin etsimään virhe, jonka

vuoksi sylinterien liike ei ollut täysin tasainen. Virhe löytyi nopeasti ja se osoittautui yksinkertaiseksi ja nopeaksi muuttaa. Koko testauslaitteisto alasajettiin ja ohjelmaan tehtiin pieni päivitys, minkä jälkeen ohjelma oli korjattu.

Tämän jälkeen aloitettiin uusi testaus jälleen ylösajamalla järjestelmä. Sylintereitä liikuttaessa liike todettiin tasaiseksi ja näin ollen ohjelman korjaaminen onnistuneeksi. Alettiin kiinnittämään huomiota venttiilipöydässä olevien PWM-solenoidien toimintaan, ja niiden parametreja säätämällä saatiin aikaan niiden toiminnan kannalta täydellinen lopputulos. Tässä vaiheessa todettiin ohjelma täysin toimivaksi ja toimeksiantajan tarpeita tyydyttäväksi.

## 6 TULOKSET

Tämän opinnäytteentyön tavoitteena oli edesauttaa Lakeuden Hydro Oy:n selvitystyötä itseohjelmoitavista ohjausyksiköstä. Tavoitteena oli kehittää ohjelma, jolla ohjataan toimeksiantajan mobilehydrauliikkaa sisältäviä ohjausyksiköitä. Tavoitteena oli luoda toimeksiantajalle uutta tietoa, jonka selvittämiseen heidän resurssinsa tai henkilöstön osaaminen suhteessa ajankäyttöön ei riitä. Opinnäytetyö toteutettiin tiiviissä yhteistyössä toimeksiantajan kanssa kommunikoiden runsaasti puolin ja toisin koko prosessin ajan.

Testauspäivänä huomattiin, että ohjaussignaaliin syntyi eroavaisuutta ohjaussauvaan nähden, kun sylintereitä liikutettiin ensimmäisellä ohjelmalla ja niiden ohjaussuuntaa vaihdettiin. Tämän takia ohjelmaa muutettiin paikan päällä siten, että sylinterien ohjaukset toimivat oikein. Pienen hienosäädön jälkeen ohjelman suunnittelu osoittautui lopulta toimivaksi ja selkeäksi. Kokonaisuudessaan ohjelma saatiin toimimaan siihen tarkoitettussa laitteistossa sekä asiakkaan vaatimalla tavalla.

Tulevaisuudessa, kun ohjelmaa hyödynnetään muissa laitteissa, vaatii se hieman soveltamista huomioiden kohdelaitteen yksityiskohdat ja tietyt tarpeet sekä periaatteet. Tämä on mahdollista tekemällä ohjelmaan pieniä muutoksia. Luonnollisesti kaikkiin laitteisiin yleispätevästi toimivaa ohjelmaa ei ole mahdollista tehdä. Yleispätevää ohjausjärjestelmää ei ole mahdollista muuttuvan ja jatkuvasti kehittyvän teknologian puitteissa luoda, mutta esimerkiksi ohjausohjelmoinnin käyttöohjeen suunnittelu ja teko voisivat olla tämän työn jatkotutkimusmahdollisuuksia.

## 7 YHTEENVETO

Kokonaisuudessaan työn tavoitteeseen päästiin. Toimeksiantaja sai toimivan ohjausjärjestelmän, jota yritys voi hyödyntää ja jatkojalostaa tulevaisuudessa. Työn eri vaiheissa saatiin ensiarvoisen tärkeää tietoa ohjelmoinnin eri vaiheista ja sen luomista mahdollisuuksista sekä haasteista. Koko opinnäytetyön yhteenvetona voidaan pitää onnistunutta ohjausjärjestelmää, jonka yritys pystyy ottamaan käyttöön ja jota se pystyy hyödyntämään omassa liiketoiminnassaan. Työprosessi suoritettiin tiiviissä yhteistyössä toimeksiantajan kanssa. Tästä syystä he saivat hyödyllistä teoria- ja käytännöntietoa ohjausjärjestelmän suunnittelusta, toteutuksesta ja testauksesta. Ohjausjärjestelmän luomisen prosessi kokonaisuudessaan on tulevaisuudessa todella hyödyllinen ja toimeksiantajaa monella tavalla auttava kokonaisuus.

Minulle opinnäytetyöntekijänä tämä prosessi antoi todella paljon uutta tietoa koodaamisesta ja kokonaisuudessaan tämän tylhisen prosessin läpiviemisestä alusta loppuun. Pääohjelman tekeminen oli itseäni eniten kehittävää, ja siinä täytyi todella haastaa omaa osaamista. Pääohjelman kirjoittaminen vaati luovuutta, pohdintaa ja kekseliäisyyttä. Ohjausjärjestelmän suunnittelun ja toteutuksen lisäksi tämä opinnäytetyöprosessi antoi minulle kokonaisuudessaan ainutlaatuisen kokemuksen tutustua toimeksiantajaan yrityksenä, heidän toimintatavoihinsa sekä tuotteisiin.

## LÄHTEET

- AutomationDirect. (2023.) *Understanding Discrete & Analog I/O*. Haettu 5.4.2023 <https://library.automationdirect.com/understanding-discrete-analog-io/>
- Barr, M. (2021). *Introduction to Pulse Width Modulation (PWM)*. Haettu 3.4.2023 <https://barrgroup.com/Embedded-Systems/How-To/PWM-Pulse-Width-Modulation>
- CIA. (i.a.). *History of CAN technology*. Haettu 5.4.2023 <https://www.can-cia.org/CAN-KNOWLEDGE/CAN/CAN-HISTORY/>
- CODESYS. (i.a.). *The Company. CODESYS group*. Haettu 28.3.2023 <https://www.codesys.com/company.html>
- Contec. (i.a.-a). *Analog I/O basic knowledge*. Haettu 3.4.2023 <https://www.contec.com/support/basic-knowledge/daq-control/analog-io/>
- Contec. (i.a.-b). *Digital I/O Basic Knowledge*. Haettu 3.4.2023 <https://www.contec.com/support/basic-knowledge/daq-control/digital-io/>
- Kauranne, H., Kajaste, J., & Vilenius, M. (2013). *Hydrauliteknikka*. (2. uudistettu painos). SanomaPro.
- Koskinen, J. (2004). *Mikrotietotekniikka: Sulautetut järjestelmät*. (1. uudistettu painos). Jari Koskinen ja Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Lakeuden Hydro. (i.a.) *Jo 50 vuotta pohjalaista yrittäjyyttä*. Haettu 18.03.2023 <https://www.lakeudenhydro.fi/yrittys/>
- Lakeuden Hydro. (2020). *Laatu-, ympäristö- ja TTT-politiikka*. Haettu 18.03.2023 [https://www.lakeudenhydro.fi/tiedostopankki/15/Laatu - ymparisto - ja TTT-politiikka.pdf](https://www.lakeudenhydro.fi/tiedostopankki/15/Laatu_-_ymparisto_-_ja_TTT-politiikka.pdf)
- Lehtonen, T., Tuomivaara, S., Rantala, V., Käsälä, M., Mäkilä, T., Jokela, T., Könnölä, K., Kaisti, M., Suomi, S., Isomäki, M., & Ylitolva, M. (2014). *Sulautettujen järjestelmien ketterä käsikirja*. Turun Yliopisto ja Työterveyslaitos. Haettu 24.3.2023 [https://www.utu-pub.fi/bitstream/handle/10024/99142/Sulautettujen\\_jarjestelmien\\_kettera\\_kasikirja\\_Painos1.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.utu-pub.fi/bitstream/handle/10024/99142/Sulautettujen_jarjestelmien_kettera_kasikirja_Painos1.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Peltonen, M. (2023). Opinnäytetyössä käytetyt komponentit. [Valokuva]



Schneehage, G. (2018). *Moottorinohjaus: toimilaitteet: rakenne, toiminta ja vianmääritys*. Suomen Autoteknillinen Liitto.

Smith, G. (2021). *What is CAN Bus (Controller Area Network) and How It Compares to Other Vehicle Bus Networks*. DEWESoft. Haettu 28.3.2023 <https://dewesoft.com/blog/what-is-can-bus>

Thomson. (i.a.) *What is Pulse Width Modulation (PWM)?* Haettu 5.4.2023 <https://www.thomsonlinear.com/en/support/tips/what-is-pwm>

TTControl. (i.a.-a). *High Performance Safety Controller – HY-TTC 510*. Haettu 28.3.2023 [https://www.ttcontrol.com/wp-content/uploads/TTControl-HY-TTC\\_510-Datasheet.pdf](https://www.ttcontrol.com/wp-content/uploads/TTControl-HY-TTC_510-Datasheet.pdf)

TTControl. (i.a.-b). *TTC 500 Family*. Haettu 28.3.2023 [TTC 500 family - TTControl](#)

TTControl. (i.a.-c). *Who we are: Mission*. Haettu 28.3.2023 <https://www.ttcontrol.com/company/>