



Hydraulisen testilaitteen automatisointi

Paul Novakovich

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2023

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

NOVAKOVICH, PAUL:
Hydraulisen testilaitteen automatisointi

Opinnäytetyö 57 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Joulukuu 2023

Opinnäytetyö tehtiin Buwo Oy:llä Pirkkalassa. Tilaajana toimi asiakasyritys VR-Group Oy, joka vastaa valtakunnallisen rautatieverkoston kaluston ja infran toimintakyvystä Suomessa. Työn tarkoituksena oli suunnitella rautatiekaluston automaatti- ja välilytkinten joustinominaisuuksien määräaikaistestaukseen tarkoitettu hydraulikkatoiminen laite, jolla käyttäjä voi käynnistää automatisoidun testausprosessin valitsemallaan reseptillä. Asiakasyritys budjetoit testilaitteen hankittavaksi kustannussäästö-, sekä omavaraisuussyistä.

Laitteen automaatio suunnittelu sisälsi automaatti- ja välilytkinten testaukseen ja sen teoriaan tutustumista, anturi- ja säätötekniikkaa, käyttöliittymän grafiikkasuunnittelua, instrumentointia, raportointia, sekä verkkopalvelimen konfigurointia. Opinnäytetyössä tutkitaan laitteen automaatio suunnittelua empiirisellä tutkimusmenetelmällä.

Opinnäytetyöllä saavutettiin laitteelta sen esimäärityksessä vaaditut ominaisuudet.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bachelor of Science in Mechanical Engineering
Machine Automation

NOVAKOVICH, PAUL:
Automation of a Hydraulic Operated Testing Machine

Bachelor's thesis 57 pages, appendices 2 pages
December 2023

This thesis was conducted for Buwo Oy in Pirkkala, Finland. The client company VR Group Oy is responsible for the operation of rolling stock and infrastructure on the national railway network in Finland. The purpose of this work was to design a hydraulic-based device for the periodic testing of railway rolling stock's automatic and semi-permanent couplers, enabling the user to initiate an automated testing process using programmed recipes. VR Group allocated resources for the acquisition of this testing device for the sake of cost savings and self-sufficiency.

The automation design of the device involved a comprehensive study of the underlying physics involved, sensor and control technologies, graphic interface design, instrumentation, reporting, and configuration of a web server. This thesis explores the automation design of the device through empirical research methods.

The thesis successfully achieved the device's predetermined specifications as outlined in its initial requirements.

Key words: railway coupling testing machine automation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TILAAJAYRITYS.....	8
3	TESTATTAVAT TUOTTEET.....	9
	3.1 Välikytkimet.....	10
	3.2 Automaattikytkimet.....	11
	3.3 Testausmenetelmä.....	12
4	TESTILAITTEEN OHJAUSJÄRJESTELMÄ.....	14
	4.1 Ohjelmoitava logiikka	14
	4.2 Käyttöliittymä.....	15
	4.3 Anturit ja mittalaitteet.....	16
	4.4 Turvalaitteet	20
	4.5 Virtalähde.....	23
5	AUTOMAATIOUUNNITTELU JA TOTEUTUS.....	25
	5.1 Siemens TIA Portal	26
	5.2 Siemens WinCC Basic	27
	5.3 Ohjelman rakenne.....	28
	5.3.1 Digitaaliset sisään- ja ulostulot	30
	5.3.2 Analogiset sisään- ja ulostulot.....	32
	5.3.3 Ohjelmalohkot.....	33
	5.4 Turvaominaisuudet ja niiden toteutus.....	34
6	OHJAUSSTRATEGIA JA ALGORITMIT	35
	6.1 Reseptit.....	35
	6.2 Algoritmit ja signaalin prosessointi	35
	6.2.1 Sijaintitieto	36
	6.2.2 Voimatieto	37
	6.2.3 Liikenopeustieto.....	37
	6.3 PID-säätö	38
7	TESTAUS JA RAPORTOINTI.....	44
	7.1 Tiedon taltiointi	46
	7.2 Testiraportti	47
8	TULOKSET JA POHDINTA	48
	8.1 Järjestelmän suorituskyvyn ja tarkkuuden analyysi.....	48
	8.2 Tulosten vertailu vaatimuksiin	49
	8.3 Pohdintaa toteutuksen aikana kohdatuista haasteista	51
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET	55

Liite 1. Esimäärittelyn vaatimuslista	56
Liite 2. Ohjelmoitavan logiikan I/O-lista	57

LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

PLC	Programmable logic controller
TEB	Total error band, eli yhteisvirhealue
VR	Valtionrautatiet
DC	Direct current
AC	Alternating current
PSU	Power supply unit
OB	Organization block
DB	Data block
FC	Function
FB	Function block
FBD	Function block diagram
IO	Input/output
TIA	Totally integrated automation
SCADA	Supervisory control and data acquisition
DAC	Digital to analog converter
ADC	Analog to digital converter
CPU	Central processing unit
LED	Light emitting diode
INT	Integer
BOOL	Boolean
PID	Proportional, integral and derivative
HMI	Human-machine interface
CSV	Comma separated value
BFSL	Best fit straight line

1 JOHDANTO

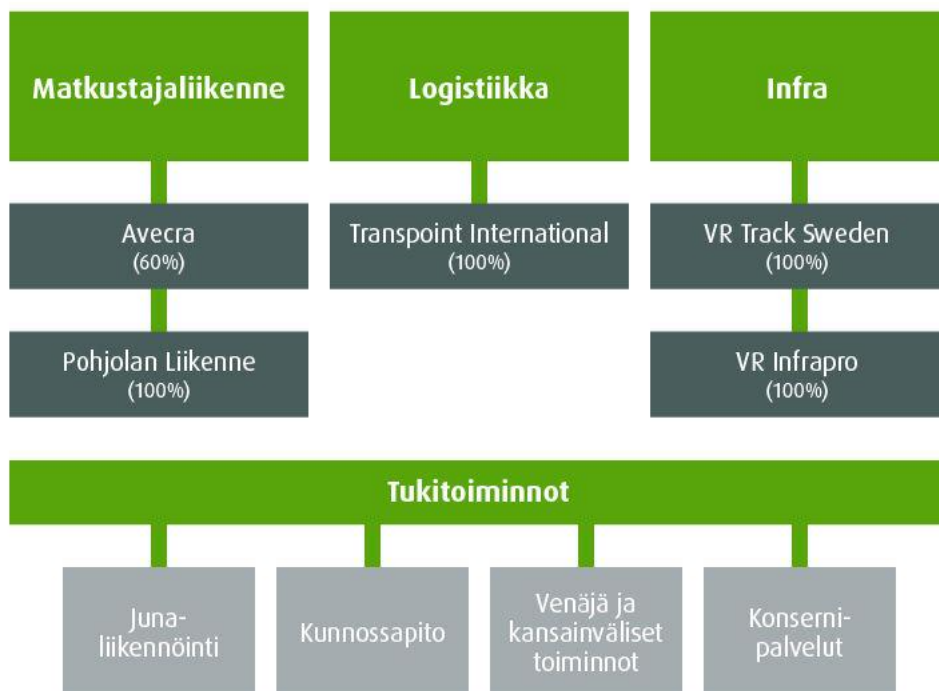
Tämän opinnäytetyön aiheena on rautatiekaluston kytkinlaitteiston, niin kutsuttujen automaatti- ja välilytkinten joustinominaisuuksien testaukseen tarkoitettujen laitteiden automaatio suunnittelu ja automaation toteutus. Testilaitteen avulla todennetaan, että testattavien osien joustinominaisuudet ovat säilyneet sallittavalla tasolla käytöstä huolimatta. Opinnäytetyön aihe valikoitui Buwo Oy:lle vuosina 2016–2017 suoritetun toimeksiannon yhteydessä.

Asiakasyritys pyrki hankinnallaan vähentämään kustannuksia mahdollistamalla automaatti- ja välilytkinten testauksen paikallisesti sen sijaan, että kytkinlaitteiden testaus ulkoistettaisiin ulkomaille. Tämän lisäksi asiakasyritys saavutti paremman testitulosten luotettavuuden ja tuotannollisen kotimaisuusasteen.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia testilaitteen automaatio suunnittelua ja toteutusta, toimia tukena koneautomaation alalla ja inspiraationa suunnittelijoille vastaavassa testilaitteiden koneensuunnittelussa. Työssä esitetään käytännön kokemuksia testilaitteen automatisoinnista empiirisen tutkimuksen perusteella, sekä työhön liittyvää perustason teoriaa eri lähteistä. Opinnäytetyössä ei tutkita muita kuin esisuunnittelussa vertailtuja vaihtoehtoisia toteutustapoja eikä verrata testilaitetta tai sen komponentteja muihin vastaaviin järjestelmiin muulla kuin laitteen suunnitteluvaiheen tasolla.

2 TILAAJAYRITYS

Laitteen tilaaja vuonna 2016 oli VR Group Oy. Konsernin emoyhtiönä toimi VR-Yhtymä Oy. Kuvassa 1 on esitetty VR Groupin organisaatio sellaisena kuin se on julkaistu 2016 vuosiraportissa. Kunnossapito on se tukitoiminto, joka vastaa rautatiekaluston toimintavarmuuden ylläpidosta. VR FleetCare (VR Kunnossapito Oy), johon VR Groupin kaluston kunnossapitotoiminnot yhtiöitettiin vuoden alussa, käsitellään taloudellisessa raportoinnissa tytäryhtiönä 1.1.2019 alkaen.



Kuva 1: VR Groupin organisaatio (VR Group 2016.)

Vuonna 2016 VR:n kunnossapidon yksikkö toimi Hyvinkäällä. Niin kutsuttu Hyvinkään Keskuskonepaja sulautettiin osaksi Helsingin Ilmalan varikkoa vuonna 2019, jossa laite toimii tällä hetkellä osana VR FleetCaren kunnossapitotoimintaa. Hyvinkään Keskuskonepaja perustettiin vuonna 1949 ja logistisista syistä vuonna 1950 sinne keskitettiin vuodesta 1863 saakka toimineen Helsingin Konepajan toiminnot (Livady, 2012, s. 33).

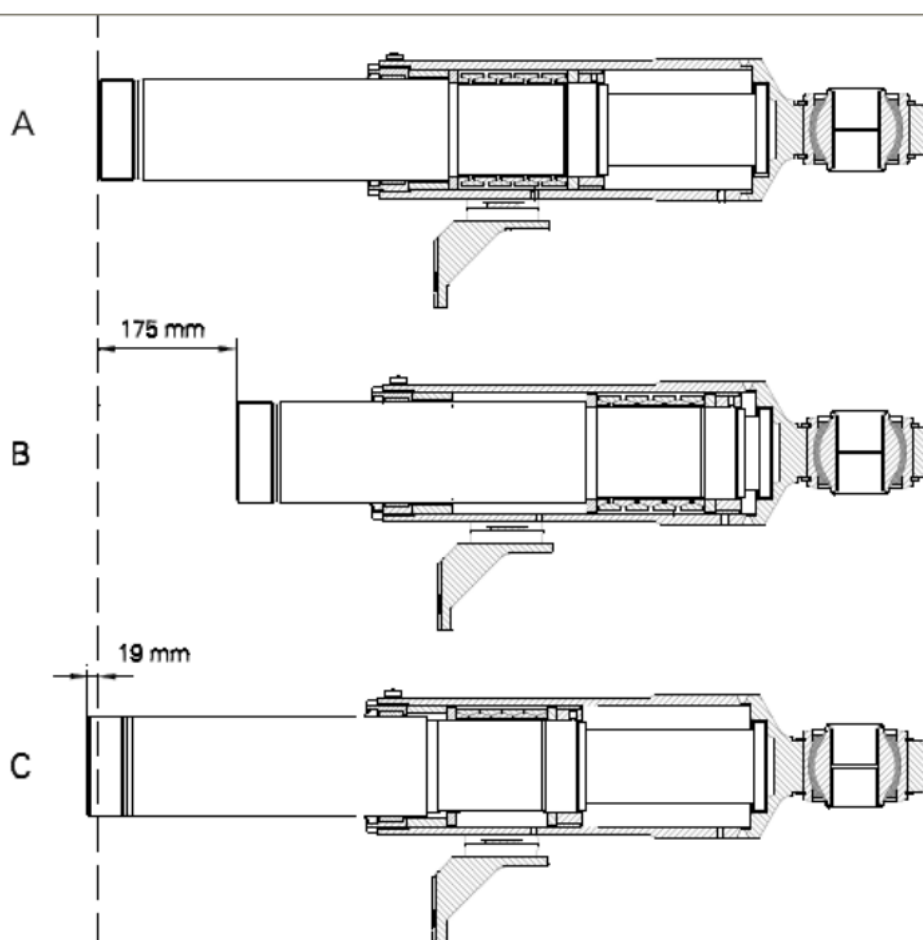
3 TESTATTAVAT TUOTTEET

Testilaitteella on tarkoitus suorittaa rautatiekaluston automaatti- ja välikytkinten joustinominaisuuksien määräaikaistarkastus. Veturit ja vaunut kytketään toisiinsa kytkimillä (kuva 2), jotka matkustusmukavuuden ja turvallisuuden vuoksi on varustettu erilaisilla joustolaitteilla. Joustolaitteet, eli kytkinrungot, ovat mekaanisia laitteita.



Kuva 2: SM4 lähijunan automaattikytkin

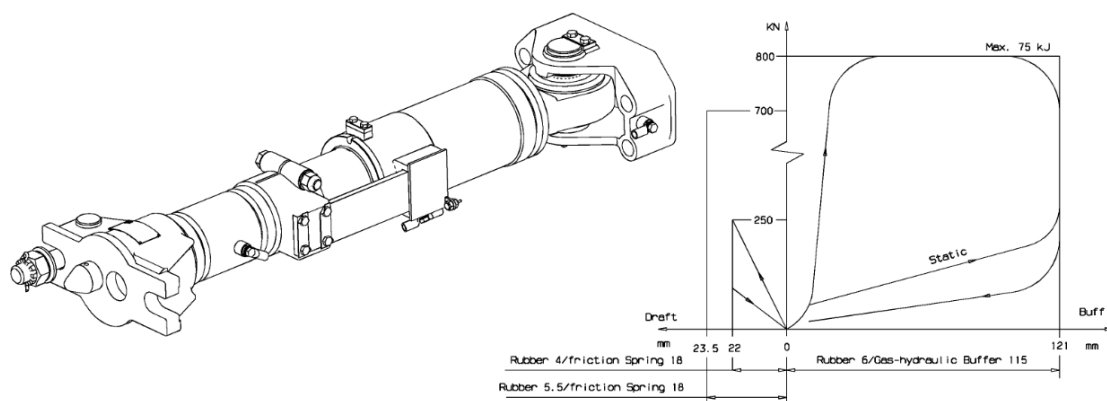
Kuvassa 3 on esitetty Dellner automaattikytkimen kytkinrunгон mekaaniset joustorajat.



Kuva 3: Automaattikytkimen kytkinrunгон toimintaperiaate, jossa A = kytkinrunko levossa, B = kytkinrunko puskun aikana ja C = kytkinrunko vedon aikana (Dellner. 2008, s. 9.)

3.1 Välikytkimet

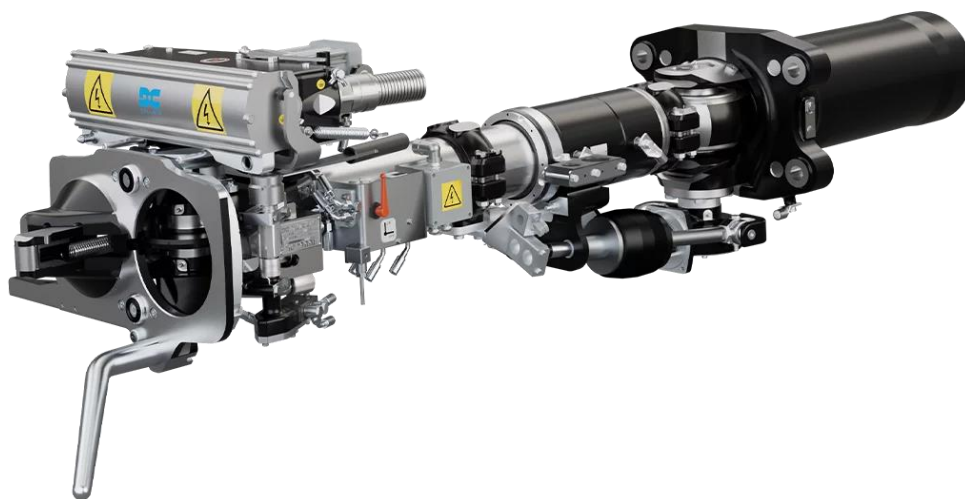
Välikytkimiä (kuva 4) käytetään sellaisten junien manuaaliseen kytkemiseen, joita ei tarvitse usein erottaa toisistaan. Välikytkin takaa turvallisen liitoksen yksiköiden välillä, mikä tekee niistä kestäväen ja kustannustehokkaan vaihtoehdon paikallis-, kauko- ja metrojunien yhdistämiseen. (Dellner. 2023.)



Kuva 4: Dellner välikytkimen 3D-kuvanto, sekä asetetut joustinlaitteen voimaraajat (Dellner. 1999.)

3.2 Automaattikytkimet

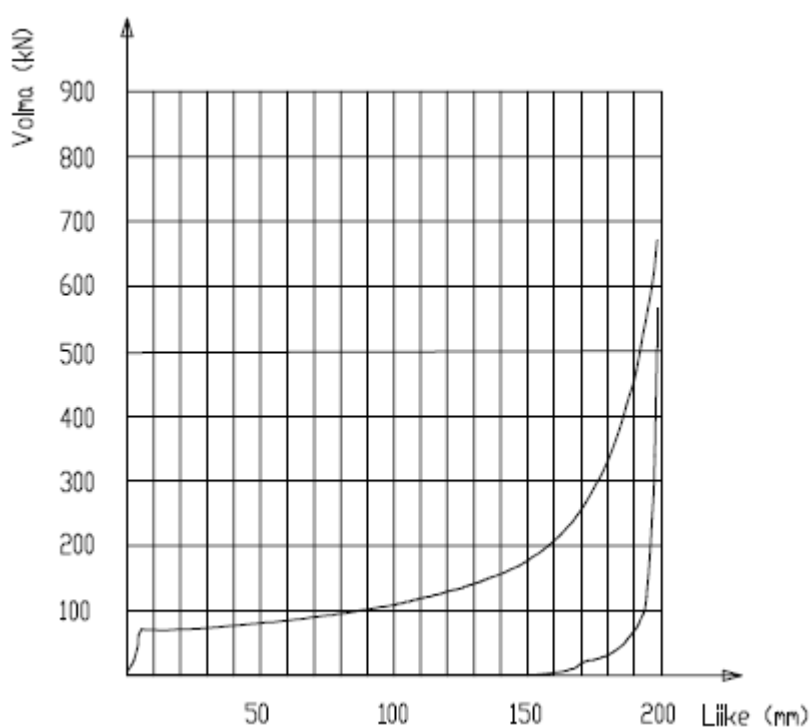
Automaattikytkimillä (kuva 5) voidaan kytkeä raidekulkuneuvot toisiinsa välittömästi ilman ihmisen väliintuloa. Kytkimet on varustettu joustinlaitteilla, jotka absorboivat liike-energiaa raidekulkuneuvojen päivittäisessä käytössä ja törmäystilanteissa. (Dellner. 2023.)



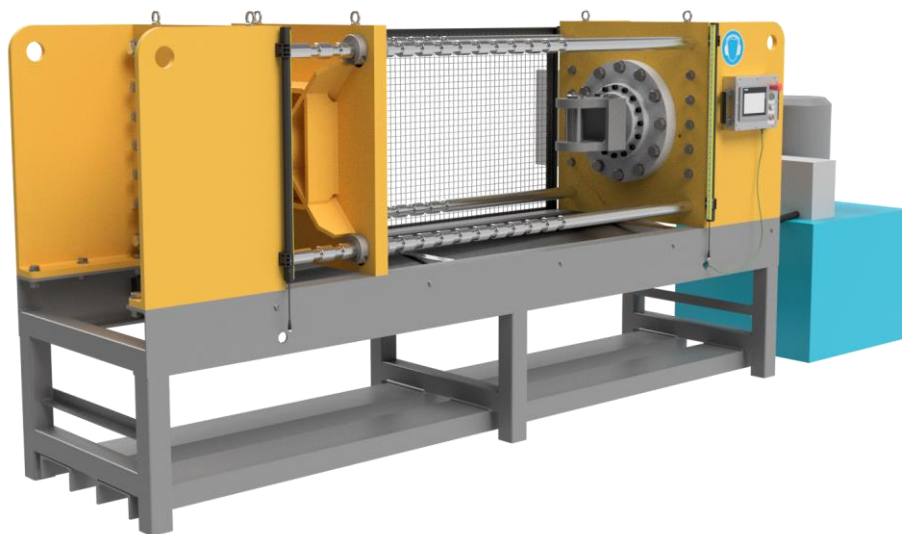
Kuva 5: Dellner Type-10 automaattikytkimen 3D-renderöinti (Dellner. 2023.)

3.3 Testausmenetelmä

Kytкимиä testataan laitteella (kuva 7) puristamalla, tai vetämällä niitä laitteen hydraulisella sylinterillä. Kytкин lukitaan sylinterin päästä työkalulla ja laitteen peräseinän päästä vastaavalla lukitustyökalulla. Laitteeseen lukittua kytkintä puristetaan sylinterillä esimääritetyillä raja-arvoilla siten, että järjestelmästä mitataan antureilla painetietoa, joka muutetaan sylinterin geometriatiedon avulla voimatiedoksi. Samalla mitataan sylinterin kulkemaa matkaa ja tästä matkatiedosta lasketaan sylinterin männän liikenopeus ajan funktiona. Järjestelmä taulukoi tiedot ja tallentaa ne muistiin, jonka jälkeen laite piirtää havainnollistavan kuvaajan digitaalisesti päätelaitteen näytölle reaaliajassa. Muistiin tallennetut taulukot ovat sitten ladattavissa ohjelmoitavan logiikan jakamalla palvelimella lähiverkossa. Testitulosten arvioinnin suorittaa laitteen käyttäjä vertaamalla raporttia kytkimen valmistajan asettamiin joustinosien funktionaalisiin raja-arvoihin (kuva 6).



Kuva 6: Kytkimen teknisen määrittelyn hyväksytty voima-matka -kuvaaja (VR Group. 2016.)



Kuva 7: Automaatti- ja välikytinten testilaitteen 3D-renderöinti

4 TESTILAITTEEN OHJAUSJÄRJESTELMÄ

Teollinen ohjausjärjestelmä on kokonaisuus, joka muodostuu logiikkaohjaimesta, siihen kytketyistä mittalaitteista, lisäkomponenteista ja ohjattavista toimilaitteista. Ohjausjärjestelmä määrittää milloin ja miten järjestelmän toimilaitteet toimivat perustuen mitattuihin tilasuureisiin ja niiden ohjelmalliseen käsittelyyn.

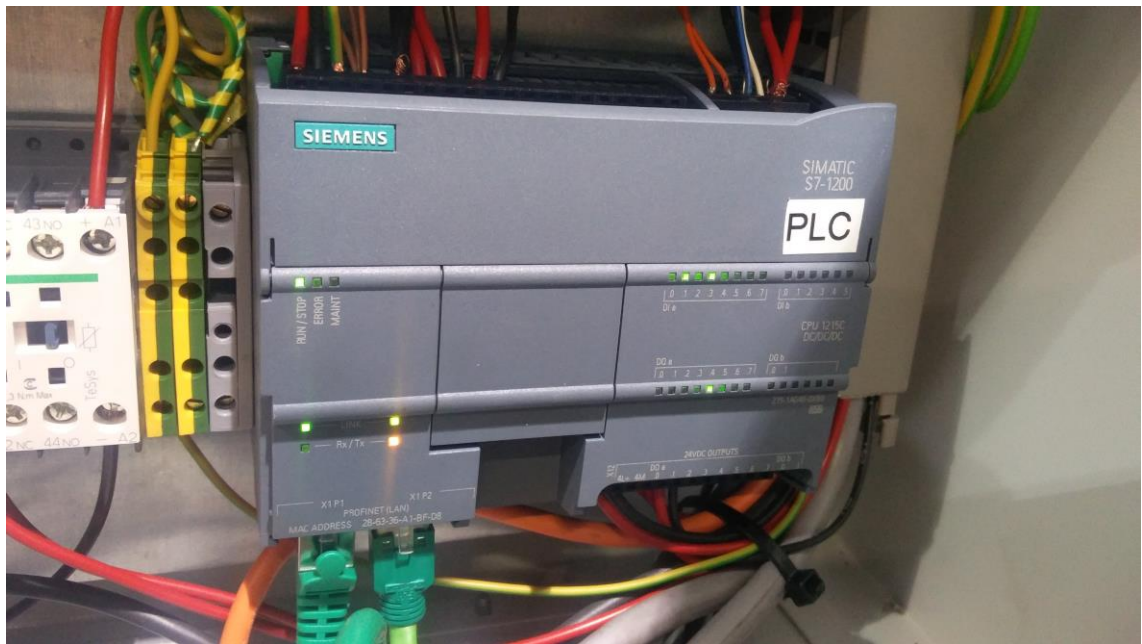
Ohjausjärjestelmä voi pitää sisällään myös laajemman tehdasautomaation ja tietoliikenneverkon. Tällöin tieto välitetään standardoitujen protokollien yli laitteelta laitteelle ja teollisen automaation ohjaus tapahtuu ohjauskeskuksesta. Tässä työssä käsitellään paikallista ohjausjärjestelmää.

Laitteen automaation mahdollistaa joukko komponentteja, jotka vastaanottavat järjestelmän tilatietoa. Tämä tilatieto muunnetaan PLC:llä paremmin työstettävään muotoon (metrinen järjestelmä), jonka jälkeen sitä voidaan käyttää.

Turvalaitteet toimivat osana ohjausjärjestelmää, mutta omassa piirissään siten, ettei niiden toiminta ole riippuvainen yhdenkään muun laitteen toimivuudesta.

4.1 Ohjelmoitava logiikka

PLC:n (kuva 8) tehtävä ohjausjärjestelmässä on sille ohjelmoitujen komentojen suorittaminen. Yleisimmät ohjelmoitavat logiikkaohjaimet keräävät digitaalista ja analogista tilatietoa ohjausjärjestelmän antureilta. PLC:lle ohjelmoitu ohjelma sitten tulkitsee, suodattaa ja muuntaa tätä tietoa haluttuun käytettävään muotoon ja se syötetään ohjelman algoritmiin, minkä tuloksena toimilaitteille lähetetään ohjaussignaali.



Kuva 8: Siemens S7-1200 sarjan ohjelmoitava logiikka

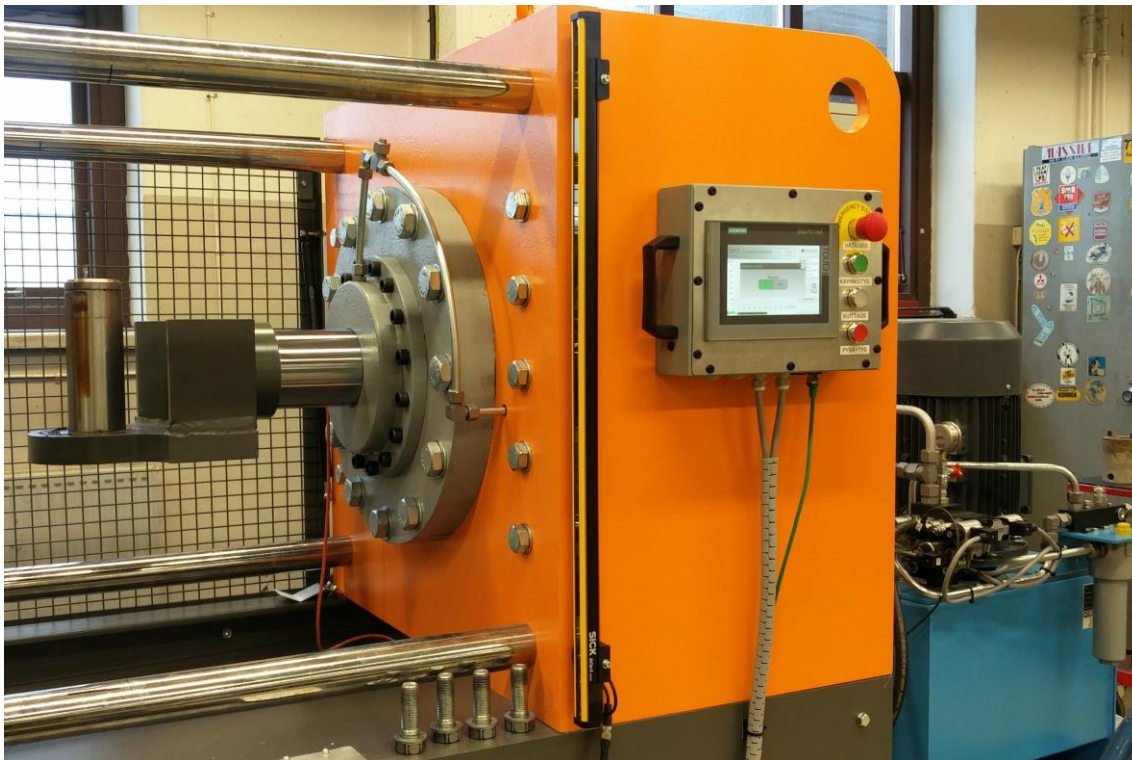
Automaatti- ja välikytkinten testilaitteen Siemens S7-1200 PLC on mallia 1215C, DC/DC/DC, 6ES7215-1AG40-0XB0. Tässä PLC:ssä on käytettävissä: 14 kpl digitaalisia sisääntuloja, 10 kpl digitaalisia ulostuloja, 2 kpl analogisia sisääntuloja, sekä 2 kpl analogisia ulostuloja. Kaikki digitaaliset sisään- ja ulostulosignaalit ovat tasajännitteisiä 24 VDC. Analogisisääntulo saadaan 0-10 VDC tasajännitesignaalilla ja analogiulostulona luodaan 0-20 mA virtasignaali.

Laitteen PLC:n valintaa ohjasi moni tekijä. Laittevalmistaja ja ohjelmointiympäristö olivat minulle entuudestaan tuttuja. Uuden valmistajan ja järjestelmien opettelu olisi kuluttanut projektilta liikaa resursseja. Laitteen esisuunnittelussa laadittu I/O-lista toimi valinnassa merkittävässä roolissa. I/O-listaan (Liite 1) on laitteen antureiden ja toimilaitteiden valinnan jälkeen listattu eri toiminnoille tarvittavat PLC:n vapaat sisään- ja ulostulot. Valintaan vaikutti myös oleellisesti järjestelmän saatavuus. Järjestelmä saatiin tilattua koottuna yhdeltä toimittajalta lyhyellä toimitusajalla.

4.2 Käyttöliittymä

Käyttäjä on vuorovaikutuksessa testilaitteen kanssa kosketusnäytöllisen Siemens TP700 -käyttöliittymäpaneelin (HMI) välityksellä (kuva 9). HMI tarjoaa käyttäjälle helposti ymmärrettävän, graafisen ja käytännöllisen

ohjausympäristön, jonka avulla käyttäjä voi seurata reaaliaikaisia tilatietoja, asettaa testiparametreja ja ohjata testausprosessia.



Kuva 9: Testilaitteen käyttöliittymäyksikkö kiinnitettynä laitteen teräsrakenteisiin

TP700 on seitsemäntuumainen, reaktiivisella paineentunnistuksella varustettu kosketusnäyttölaite. Näyttölaitteen lisäksi käyttöliittymäyksikössä on kolme fyysistä ohjauspainiketta testauksen käynnistykselle, viankuittaukselle, testauksen pysäytykselle, sekä hätä-seis painike.

HMI keskustelee PLC:n kanssa jatkuvasti Profinet-yhteydellä. Profinet (Process Field Network) on teollisuuden protokolla, joka mahdollistaa teollisten laitteiden ja automaatiojärjestelmien verkkoyhteyden. Se on yksi yleisimmistä teollisuuden protokollista, jota käytetään laajalti automaation ja valvonnan sovelluksissa. Profinet perustuu Ethernet-tekniikkaan, mikä mahdollistaa nopean ja luotettavan tiedonsiirron.

4.3 Anturit ja mittalaitteet

Ohjausjärjestelmä kerää laitteen tilatietoa ja mittaa järjestelmän tilasuureita usealta eri anturilta ja anturityypiltä.

Jotta työntö- ja vetovoimaa voidaan säädellä, on mitattava sylinterin molemmista linjoista painetietoa. Tämä tapahtuu hydraulikkakoneikon lohkon kiinnitetyillä IFM-merkkisillä analogisella paineantureilla (kuva 10). Paineanturin valinta tapahtui yhteistyössä hydraulikkakoneikon valmistajan Tarkmet Oy:n suunnittelijoiden kanssa ja perustui annettuihin suorituskykyarvoihin.

Tilaajan vaatimus testilaitteen voima-arvon mittauksen tarkkuudelle oli +/- 1% koko mittausalueella. Vaatimus pätee näin ollen suoraan verrannollisesti paineantureiden tarkkuuteen. Valmistajan laatimasta PT3550 paineanturin tietolehdestä (IFM. 2023) voidaan poimia tarvittavat arvot laskentaa varten. IEC 61298-2:2008 standardin mukaan tarkkuuden määrittämisen edellytyksenä on tunnettava anturin hystereesipoiskeama, toistotarkkuus, sekä lineaarisuuspoikkeama.

Hystereesillä tarkoitetaan lähtöviestin eroa samalla mittausarvolla, kun mittaus tehdään sekä nousevaan, että laskevaan suuntaan. Toistotarkkuudella (tai toistettavuudella) tarkoitetaan suurinta eroa lähtöviestissä, kun sama painearvo mitataan useaan otteeseen samoissa olosuhteissa ja lähestytään samasta suunnasta. Lineaarisuuspoikkeama (BFSL, eli Best Fit Straight Line) tarkoittaa anturin ominaispoikkeaman määrää suhteessa referenssilinjaan voiman kasvaessa mittausalueen ylärajalle asti. Edellä mainitut virhearvot ilmoitetaan prosentteina mittausalueesta.

IEC-standardi ei määrittele, kuinka nämä arvot yhdistetään yhdeksi tarkkuudeksi. Menetelmällä, jolla nämä arvot yhdistetään voi olla huomattava vaikutus kokonaistarkkuuteen. Usein arvot yksinkertaisesti summataan yhteen, kun taas jotkut valmistajat käyttävät matemaattisia yhtälöitä, kuten summan neliöjuurta yhdistääkseen ne mittalaitteen kokonaistarkkuudeksi. (Dwyer Instruments. 2017)

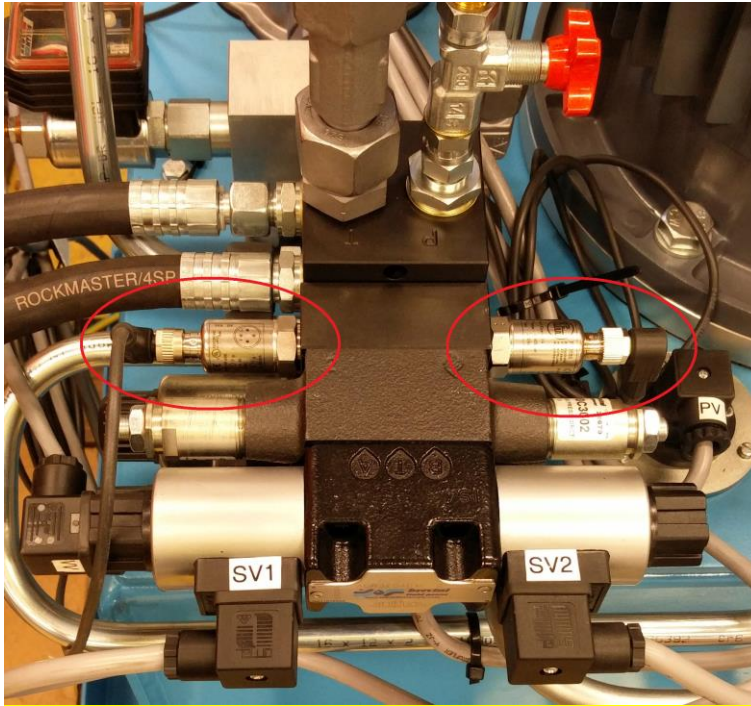
Opinnäytetyössä hyödynnetään poikkeuslukemien summan potenssin neliöjuurta, mikä on yksi yleisimmistä kokonaistarkkuuden laskentakäytännöistä.

$$Tarkkuus_{kok} = \sqrt{(x)^2 + (y)^2 + (z)^2}$$

Missä x =lineaarisuuspoikkeama (BFSL), y =hystereesipoikkeama, z =toistotarkkuus.

$$Tarkkuus_{kok} = \sqrt{(0,25)^2 + (0,2)^2 + (0,1)^2}$$

Jolloin kokonaistarkkuudeksi saadaan noin +/- 0,34 % mittausalueesta.



Kuva 10: IFM paineanturit hydraulikkakoneikon lohossa

Paineantureita luetaan yhdellä PLC:n analogisella sisääntulolla. Anturit on kytketty releeseen, mikä määrittää kumpaa anturia luetaan. Relettä puolestaan ohjataan PLC:n digitalisella outputilla. Ohjelma lukee puristustyössä sylinterin männän puolen painetta ja vetotyössä varren puolen painetta. Tämä mahdollistaa puristustyössä ja vetotyössä aina oikean puolen hydraulikkalinjan paineen mittauksen.

Laitteen liikenopeuden ja liikerajojen määrittämiseen tarvitaan laitteelta kyky tunnistaa sylinterin sijaintitieto. Markkinoilla on saatavilla lähes rajaton määrä erilaisia ratkaisuja tämän toteutukselle. Suunnitteluvaiheessa sylinterin männän liikematkan mittaukselle jäi kaksi vaihtoehtoa: sylinteri sisäisellä lineaarianturilla, joka mittaa sylinterin männän liikettä sylinterin rungon sisäisesti tai tavanomainen sylinteri, johon on liitetty sijaintia mittaava anturi. Kustannussyistä päädyttiin jälkimmäiseen ratkaisuun (kuva 12).

Liikematkan mittaukseen valittiin SICK DT35 laseretäisyysanturi (kuva 11). Valinta perustui tälle anturityypille edullisen hinnan ja toimittajan suosituksen vuoksi, sekä aiempaan kokemukseeni kyseisen valmistajan antureiden parissa työskentelystä. Anturin suorituskykyä olisi tullut katselmoida tarkemmin, sillä muun muassa sen toistettavuuden suorituskyky vaikutti suuresti testilaitteen lopulliseen suorituskykyyn.

Toistettavuudella tarkoitetaan anturin kykyä tuottaa sama lähtöviesti kahdella identtisellä mittauksella. Toistettavuus ilmoitetaan useimmiten prosentuaalisena arvona, mutta tämä on tapauskohtaista. Taulukossa 1 on esitetty laseretäisyysanturin toiminnalle keskeisimmät suorituskykyarvot.

Taulukko 1: SICK DT35 laseretäisyysanturin keskeisimmät suorituskykyarvot (SICK. 2023, s. 3).

Suure	Arvo
Resoluutio	0,1 mm
Toistettavuus	$\geq 0,5$ mm
Mittausepävarmuus	± 10 mm

Taulukon arvoista voidaan tulkita, että yhdessä suhteellisen suuren mittausepävarmuuden, mikä summautuu jopa 20 mm mittauspoikkeamiin, sekä kohtalaisen suuren toistettavuusvirheen yhtälöstä tarkan etäisyysmittauksen toteutus tuo haasteita mukanaan. Näiden haasteiden ratkaisemisesta kerrotaan enemmän kappaleessa 6.2.1.



Kuva 11: SICK DT35 laseretäisyysanturi (SICK. 2023, s. 2).



Kuva 12: Hydraulinen sylinteri, sen paikoitukseen tarkoitettu laseretäisyysanturi, sekä sylinteriin kiinnitettävä työkalu johon etäisyysanturin teräksinen taustalevy on asennettu

4.4 Turvalaitteet

Testilaitteen välittömässä läheisyydessä olevan henkilöstön ja käyttäjän turvallisuuden takaamiseksi laite on varustettu useilla turvaominaisuuksilla. Turvalaitteiden suunnittelun työkaluina käytettiin koneturvallisuusstandardia, sekä laitteen riskianalyysia. Näiden avulla päädyttiin ratkaisuun, jossa hyödynnettiin sekä laitteen rungon mekaanisia mittoja, sekä kuvan 13 turvalaitteita.

Turvalaitteet		
#	Laitteen kuvaus	Kpl
1	Turvaloverho Turvaloverhon johdot ja liittimet Turvaloverhon kiinnikkeet	1
2	Turvalukko Turvalukon johdot ja liittimet	2
3	Hätäseis-painike	1
4	Turvarele	?

Nämä turvalaitetarpeet pätevät siinä tapauksessa, että kosketussu-

Kuva 13: Testilaitteen turvalaitelista

Turvapiirin katketessa katkeaa myös hydraulikkakoneikon moottorin kontaktorilta virta, mikä sammuttaa moottorin ja sylinterin liike pysähtyy. Moottorin käynnille on myös ohjelmoitu ehto, mikä luo turvapiirille kaksoisvarmistuksen (logiikan ohjelma ja fyysinen kosketin). Moottori ei voi käynnistyä uudelleen turvapiirin ollessa katkennut. Kun vaaratilanne on poistunut, tai vikatilanne on käsitelty, käyttäjä saa kuitattua turvapiirin takaisin kytketyksi käyttöliittymäpaneelin kuittauspainikkeesta. Kuittauspainiketta on painettava myös jokaisen laitteen päävirran kytkennän jälkeen. Kuittauksen jälkeen moottorin on saatava vielä ohjauskäsky PLC:ltä sen käynnistämiseksi. Tämä menettely estää tahattoman käynnistymisen, sekä käynnistymisen sähkökatkon jälkeen.



Kuva 14: Käyttöliittymän yhteyteen asennettu hätä-seis painike

Laitteen turvapiiri koostuu kahdesta sarjaan kytketystä turvareleestä, johon toiseen on kytketty turvaloverhot ja toiseen hätä-seis painike (kuva 14), sekä turvalukko (kuva 15). Turvareleisiin kytketään myös kuitauspainike. Alkuperäisessä turvalukossa havaittiin valmistusvirhe, minkä vuoksi toinen turvakäyttöön tarkoitettuista kärkipareista ei sulkeutunut. Pian lyhyen reklamaatioprosessin jälkeen vastaanotimme korvaavan turvalaitteen (Alanko. 2017, s. 14).



Kuva 15: Testilaitteen takaosan turvaoven elektronisesti lukitseva turvalukko

4.5 Virtalähde

Ohjausjärjestelmä käyttää virtalähteenä yhtä Siemens SITOP PSU100S virtalähdettä (kuva 16). Virtalähteelle syötetään 230 VAC vaihtojännite ja se antaa ulos 24 VDC tasajännitteen. Virtalähde kykenee tuottamaan maksimissaan 20 A virtaa, joka on laskettu riittävän jokaisen järjestelmän sähkölaitteen yhtäaikaiseen käyttöön.

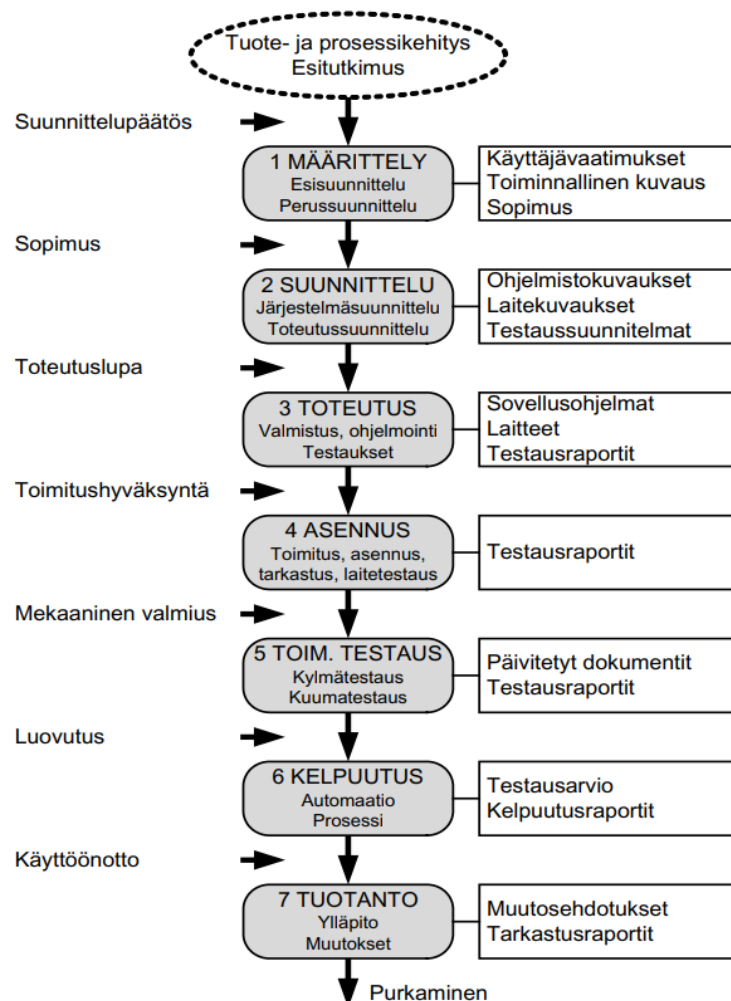


Kuva 16: Virtalähde Siemens SITOP PSU100S, 24 VDC, 20A (Teknocontrol. 2023).

5 AUTOMAATIOSUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Automaatiosuunnittelulla tarkoitetaan teollisuuden automaattisten järjestelmien suunnittelua, kehittämistä ja toteutusta. Automaatiosuunnittelua voidaan yhdistää moniin eri sovelluksiin, kuten teollisuus- ja koneautomaatioon, prosessiautomaatioon, valvontajärjestelmiin ja robotiikkaan. Kaikissa edellä mainituissa sovelluksissa on yhdistäviä tekijöitä, mutta ne eroavat toteutustavoiltaan.

Automaatiosuunnittelua ohjasi ensisijassa koneturvallisuusstandardin SFS-EN 60204-1 asetukset ja asiakkaan toimittaman esimäärittelydokumentin mukaan laadittu vaatimuslista. Tällaisia määräyksiä olivat muun muassa halutut testausominaisuudet, eri testattaville kytkimille määritetyt maksimi voima- ja nopeusvaatimukset, koneturvallisuusmääräykset ja valittujen komponenttien asettamat rajoitukset.

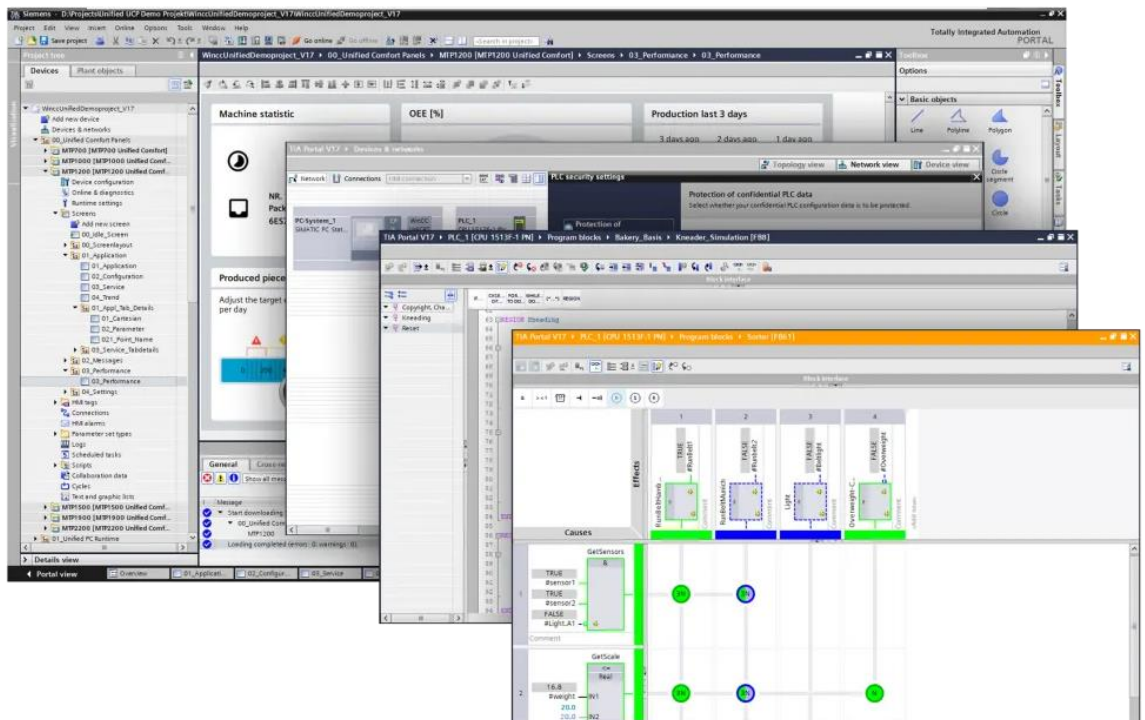


Kuva 17: Automaatiojärjestelmän suunnittelun eri vaiheita (Automaatioseura. 2023, s. 16).

Automaatti- ja välikytkinten testilaitteen automaatio suunnittelu koostui kuvan 17 mukaisesta, Suomen Automaatioseura ry:n laatimasta aikajanamallista: suunnittelupäätöksestä, määrittelystä, esisuunnittelusta, toteutuksesta, asennuksesta, toiminnan testauksesta, kelpuutuksesta ja käyttöönnotosta.

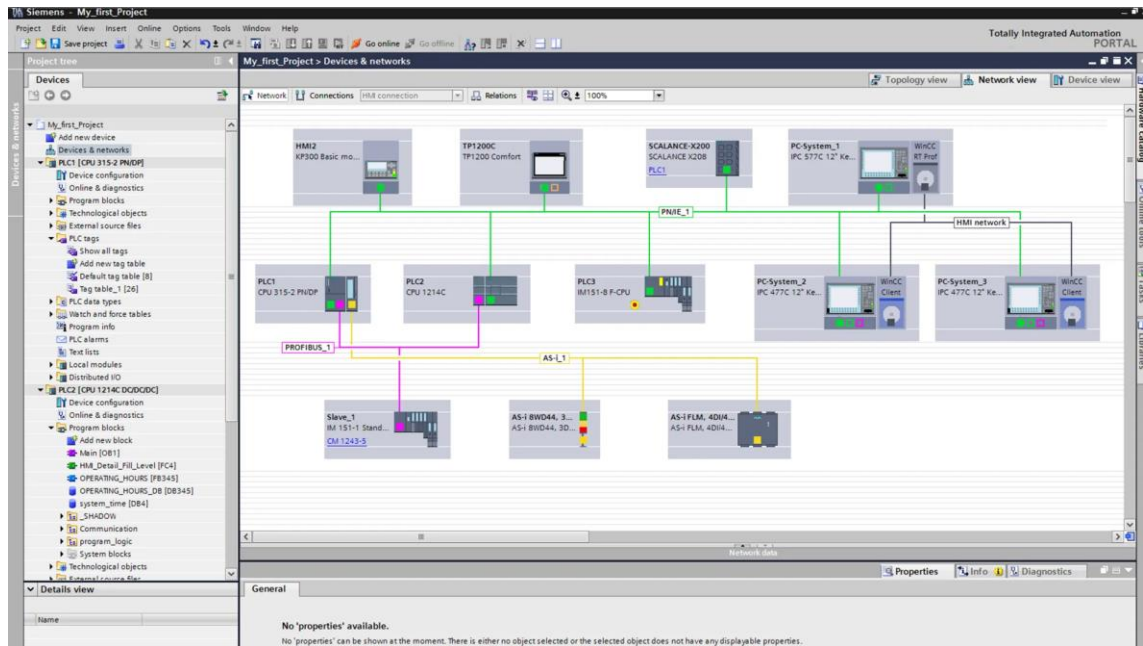
5.1 Siemens TIA Portal

Logiikkaohjelmointi tapahtui Siemens TIA (Totally Integrated Automation) Portal –ohjelmistolla (kuva 18). TIA Portal on Siemensin kehittämä graafinen ohjelmointiympäristö SIMATIC teollisuusohjainten konfigurointiin ja ohjelmointiin. TIA Portal on jatkumoa aikaisemmalle STEP 7 –ohjelmistolle.



Kuva 18: Siemens TIA Portal –ohjelmointiympäristö (Siemens. 2023).

Koska ohjelmointiympäristö saatiin käyttöön vasta tilatun laitteiston mukana, aloitettiin ohjelmointi jo hankittujen laitteiden konfiguroinnista järjestelmään. Siemens TIA -ohjelmointiympäristössä tämä on tehty selkeäksi ja vaivattomaksi graafisella laiteverkon konfigurointityökalulla (kuva 19).



Kuva 19: Siemens TIA Portal –ohjelman graafinen laitteisto- ja verkkokonfigurointi (Siemens. 2023).

5.2 Siemens WinCC Basic

Käyttöliittymän ohjelmointia varten tarvittiin Siemens TIA Portalin SIMATIC WinCC lisenssi. WinCC on Siemensin prosessivisualisointijärjestelmä joka soveltuu niin yhden käyttäjän käyttöliittymäsovelluksiin, kuin laajoihin tehdasohjausjärjestelmiinkin (supervisory control and data acquisition, tai SCADA).

Testilaitteessa käytetty Siemens TP700 kosketusnäyttöinen käyttöliittymäpaneeli kytkeytyy Profinet-yhteydellä ohjelmitavaan logiikkaan. Paneelin oma virtuaalinen IO-lista määritetään ja kytketään PLC:n muistialueisiin, joilla käyttöliittymäpaneelin toimintoja voidaan ohjata. Tietoliikenne on molemmin puolista, jolloin näytöllä voidaan esittää tietoa logiikkaohjaimen tilasta, sekä lähettää logiikkaohjaimelle käyttäjän antamia käskyjä kosketusnäytön välityksellä.

Datan keräys toteutetaan käyttöliittymäpaneelin toimesta. Tieto tallioituu siihen liitettyyn ulkoiseen muistikorttiin. WinCC Basic –ohjelmisto sisältää paljon hyödyllisiä sisäänrakennettuja työkaluja, kuten graafisen kuvaajan, jolla laitteen

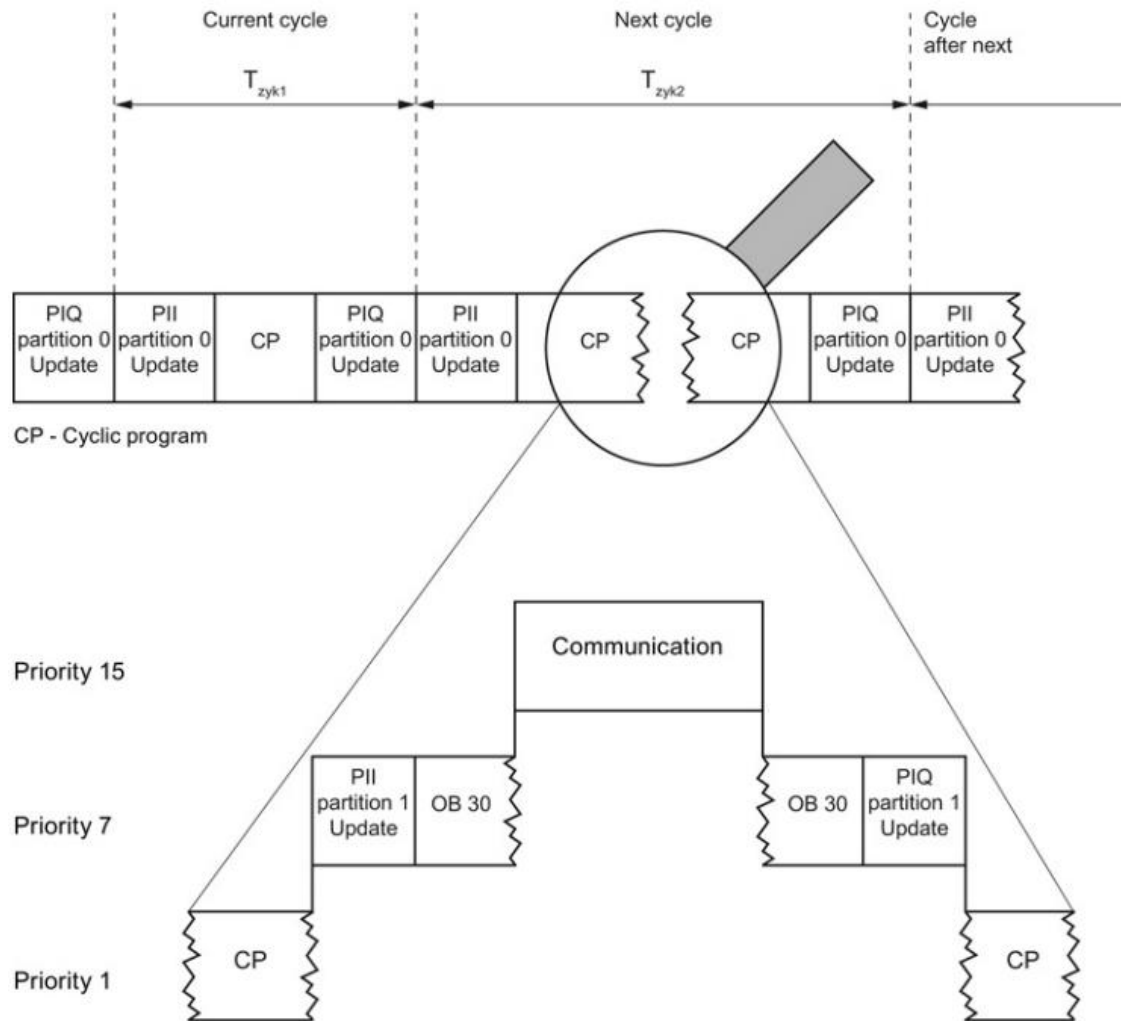
keräämä tieto esitetään kunkin työkierron aikana. Ohjelmistolla suunnitellaan myös valikkoarkkitehtuuri, sekä virhetilan hallinta.

5.3 Ohjelman rakenne

Testilaitteen automaatio suunnittelun ensiaskel oli hahmottaa ohjelman perusrakenne. Siemens STEP 7 logiikkaohjelma koostuu organisaatiolohkoista, jotka toimivat eräänlaisina ohjelman selkärankoina. Organisaatiolohkoja käytetään ohjelman eri toimintojen ja tehtävien hallintaan ja suorittamiseen.

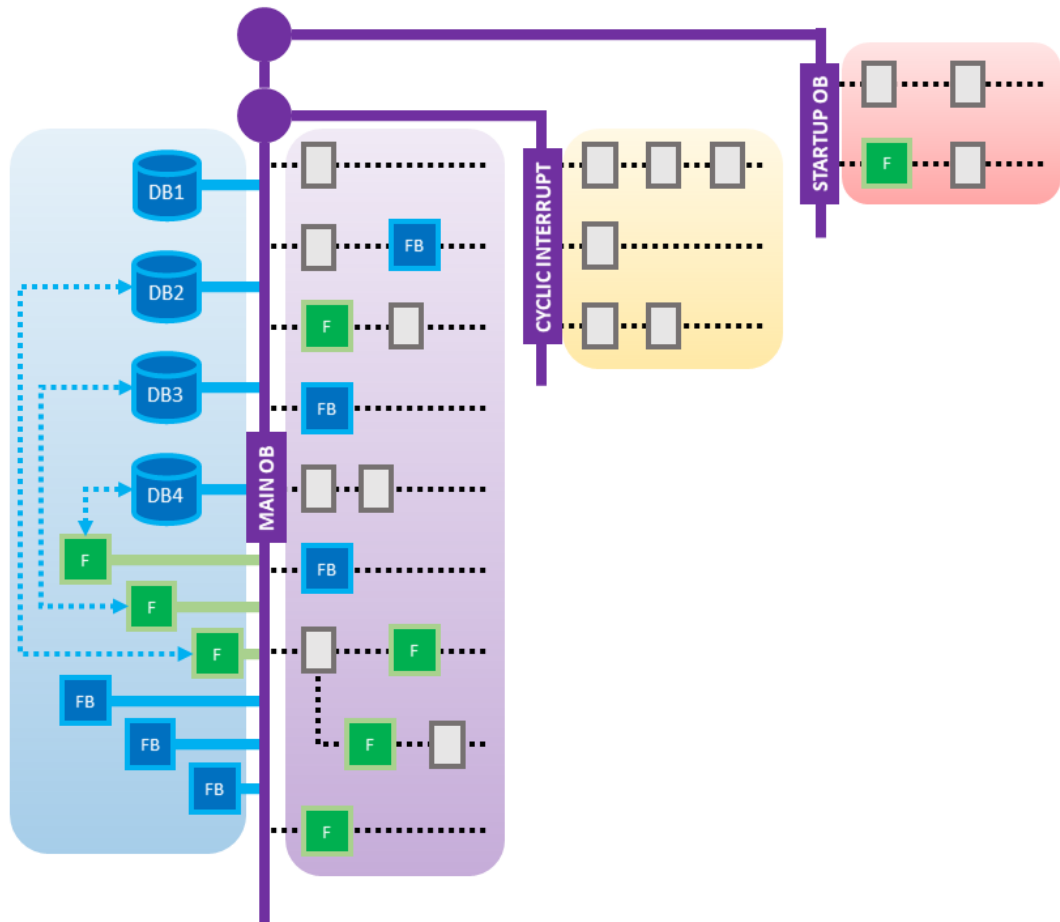
Ohjelman lohkot, kuten organisaatiolohkot, funktiot ja funktiolohkot on jaettu tarvittavaan määrään toimintoverkkoja (network) kunkin lohkon sisällä. Toimintoverkot on numeroitu juoksevilla numeroinnilla ja ne luetaan lohkoissa nousevassa lukujärjestyksessä. Viimeisen toimintoverkon lukemisen jälkeen ohjelma palaa sen lohkon alkuun ja aloittaa taas lukemaan ensimmäisestä toimintoverkosta. Tätä tapahtumaketjua kutsutaan sykliksi. Yksi sykli tapahtuu erittäin nopeasti. Aika, joka yhden lohkon syklin läpilukuun kuluu, riippuu sen sisällöstä ja vaatimista toimenpiteistä. Ohjelman rakenteen arkkitehtuuri on esitetty visuaalisena hahmotteluna kuvassa 21.

Syklisen viiveet ja niiden epäsäännöllisyys saattavat olla vähemmän toivottuja. Syklinen keskeytyslohko (cyclic interrupt) vakioitua lukutaajuutta voidaan säätää PLC:n asetuksissa ja sen minimi lukutaajuus on 1 ms. Vakioitu lukutaajuus perustuu siihen, että syklinen keskeytyslohko pakottaa järjestelmän lukemaan tämän tyyppin lohkon määritetyllä lukutaajuudella priorisoimalla sen korkeammalle tärkeysasteelle muihin organisaatiolohkojen taajuuksiin nähden.



Kuva 20: Esimerkki Siemens STEP 7 logiikkaohjelman syklien priorisoinnista ja sen vaikutuksesta lukutaajuuteen (Siemens. 2014, s. 13).

Kun ohjelma pakotetaan aloittamaan korkeamman prioriteetin sykli, keskeyttää se aiemmin käynnissä olleen syklin, mikä pidentää alemman prioriteetin syklin lukutaajuutta, mutta tällöin korkeamman prioriteetin syklin lukutaajuus säilyy vakiona (Kuva 20).



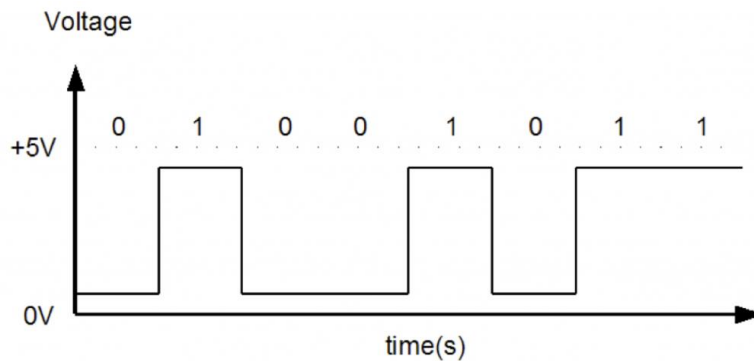
Kuva 21: Automaatti- ja välilytkinten testilaitteen ohjelman arkkitehtuuri, suuntaa antava

Ohjelmassa hyödynnettiin lisäksi kolmatta organisaatiolohkoa, Startup OB:ta (OB100). Startup organisaatiolohko luetaan nimensä mukaisesti kerran ohjelman käynnistyksen yhteydessä. Kyseistä organisaatiolohkoa käytetään yleisesti syklisten organisaatiolohkojen (OB), sekä datalohkojen (DB) asetusarvojen nollaamiseen. Automaatti- ja välilytkinten testilaitteen ohjelmassa Startup OB100:lla asetetaan sylinterin suuntaventtiili neutraaliasentoon, nollataan sijaintitiedon kalibrointi, sekä nollataan järjestelmän kalibroidut etäisyysarvot vastaamaan laseretäisyysanturin todellisia minimi- ja maksimiarvoja.

5.3.1 Digitaaliset sisään- ja ulostulot

Jotta PLC voi olla yhteydessä ja tekemisissä ulkopuolisen maailman ja laitteiston kanssa, se vastaanottaa ja lähettää erilaisia digitaalisia signaaleja (kuva 22). Nämä sisään- ja ulostulosignaalit (input and output signals, eli IO) ovat







lähtökohtaisesti binaarisia, vaihdellen jännitetasosta riippuen korkean (1) ja matalan (0) signaalin tilan välillä.



Kuva 22: Esimerkki digitaalisen binaarisignaalin muutoksista ajan funktiona (University of Plymouth. 2023).

Muutokset korkean ja matalan binaarisignaalin välillä voi olla hyvin nopeaa. Tämä mahdollistaa erilaisia käyttöjä yksinkertaiselle binaarimuotoiselle signaalille, kuten digitaalisen signaalin pulssinleveysmodulaation (pulse-width modulation, eli PWM) tarvittaessa analogista signaalia muistuttavaan muotoon.

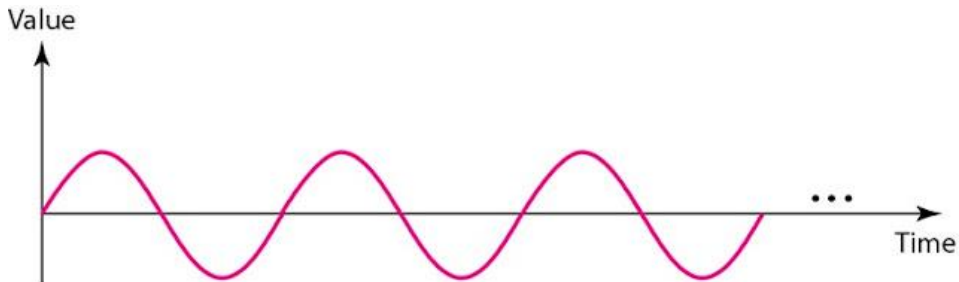
Siemens S7-1200 1215C PLC:ssä on käytettävissä 14 digitaalista sisääntuloa ja 10 digitaalista ulostuloa. Kunkin IO:n tilaa ilmaistaan PLC:n paneelissa LED-ilmaisimilla. Digitaalisten sisääntulojen osoitteet ilmaistaan Siemens STEP 7 ohjelmassa I0.0, I0.1, I0.2... juoksevalla numeroinnilla. Ulostulot, tai lähdöt, ilmaistaan samaan tapaan Q0.0, Q0.1, Q0.2... juoksevalla numeroinnilla (kuva 23).

	Kuittauspainike	Bool	%I0.3
	Moottori	Bool	%Q0.2
	Pintavahtilin	Bool	%I0.0
	Turvapiiriin	Bool	%I0.1
	Käynnistyspainikeln	Bool	%I0.2
	Pysäytyspainikeln	Bool	%I0.4

Kuva 23: Otos laitteen STEP 7 ohjelman PLC tagilistan sisään- ja ulostulojen tagien datatyypeistä ja osoitteista.

5.3.2 Analogiset sisään- ja ulostulot

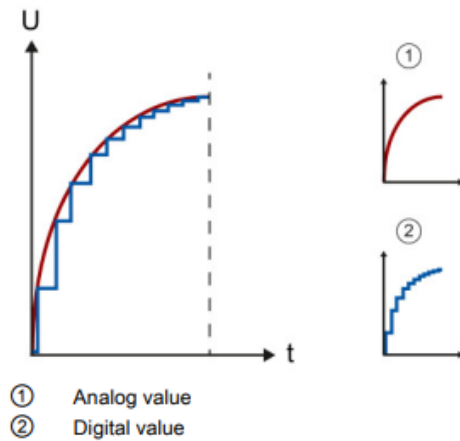
Sekä analogiset, että digitaaliset signaalit pitävät sisällään informaatiota. Analoginen signaali eroaa digitaalisesta sen signaalin jatkuvuudella.



Kuva 24: Esimerkki analogisesta siniaaltosignaalista ajan funktiona (Baloch. 2023).

Jaksottaisen ja porrasmaisen digitaalisen signaalin sijaan analoginen signaali toimii aaltomuodossa (kuva 24), jolloin sen arvoa voidaan tulkita lähes äärettömällä resoluutiolla. Analogisella signaalilla kuvataan usein luonnollisia suureita, kuten ääniaaltoja, painetta järjestelmässä, tai virtausta.

Siemens S7-1200 1215C PLC:ssä on käytettävissä 2 kpl analogisia sisääntuloja, sekä 2 kpl analogisia ulostuloja. Analogisten sisääntulojen osoitteet ilmaistaan Siemens STEP 7 ohjelmassa IW64, IW66 juoksevalla numeroinnilla. Ulostulot, tai lähdöt, ilmaistaan samaan tapaan QW64, QW66 juoksevalla numeroinnilla. Osoitteiden numerointi hyppää luvun yli sen vuoksi, että analogitiedosta johdettua digitaalitietoa varten on varattava kahden sanan kokoinen muistialue. PLC ei kykene suoraan tulkitsemaan vastaanottamaansa analogisignaalia, vaan sen on ensin tehtävä muunnos analogisesta digitaaliseen muotoon (kuva 25) sisäänrakennetulla muuntajalla (analog-to-digital converter, eli ADC). Muuntaja muuntaa analogisen virta-, jännite-, tai vastussignaalin 16-bittiseen kokonaislukumuotoon (integer, lyhennetty INT). Resoluutio ja muunnosnopeus ovat merkittävimpiä ADC parametreja.



Kuva 25: Esimerkki ADC muunnoksesta, missä punaisella on esitetty analogisignaali ja sinisellä sen digitaalinen muunnos (Siemens. 2014, s. 11).

Sama käytäntö koskee analogisia ulostuloja. CPU:n prosessoitua digitaalisen signaalin se muunnetaan jälleen sisäänrakennetun muuntajan avulla analogiseen muotoon (digital-to-analog converter, tai DAC) toimilaitteiden, kuten proportionaaliohjattujen venttiilien ohjausta varten (Siemens. 2014, s. 9-13).

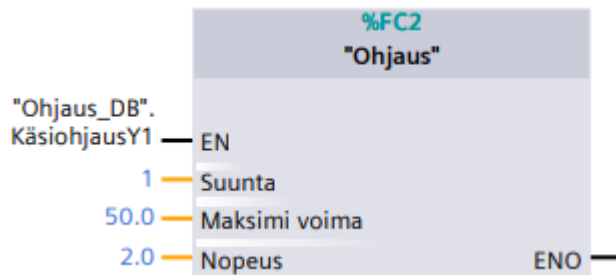
5.3.3 Ohjelmalohkot

Testilaitteen ohjelma on pääasiassa ohjelmoitu toimintalohkokaaviokielellä (function block diagram, eli FBD). Ohjelmointi tapahtuu asettamalla organisaatiolohkon verkoille esimääritettyjä, visuaalisesti helposti tulkittavissa olevia logiikkaoperaatioita, kuten AND (kuva 26) ja OR.



Kuva 26: Yksinkertainen AND logiikkaoperaatio, jolla asetetaan "Työ"-ohjelmalohkon toimintaehto.

Näiden lisäksi ohjelma on rakennettu pilkkomalla sitä osiin. Aivan kuten tavanomaisimmissakin ohjelmointikielissä, toimintalohkokaavio hyödyntää toimintoja (function call, eli FC) ja toimintalohkoja (function block, eli FB), joita voidaan niin ikään kutsua eri ohjelman vaiheissa.



Kuva 27: Esimerkki testilaitteen manuaaliajon toiminnosta.

Kuvassa 27 on esitetty testilaitteen manuaaliajon toimintalohkossa FB4 käytetty ohjaustoiminto FC2. Ohjaukseen vastataan ohjauksen muistilohkon (data block, eli DB) "Ohjaus_DB" muistialueelta "KäsiOhjausY1". Toiminnon sisäisiä muistialueita ovat "Suunta", "Maksimi voima" ja "Nopeus", mitkä nimensä mukaisesti määrittävät sylinterin asetusarvoja. Koska toimintoa käytetään tässä tapauksessa manuaaliohjaukseen, on asetusarvot määritetty suoraan toimintoon ilman, että niitä määrittää ulkoinen muistialue. Toiminto eroaa toimintalohkosta siten, että toiminnolla on käytettävissä ainoastaan paikallinen muistialue, joka nollaa itsensä toiminnon keskeytyksen yhteydessä. Muussa ohjelman osiossa toimintoa käytettäessä nämä asetusarvot voivat tulla kutsuttuina muistialueilta, tai olla arvoltaan toisia, eivätkä nämä määrittäykset vaikuta manuaaliajon ohjaukseen.

5.4 Turvaominaisuudet ja niiden toteutus

Turvallisuus oli ensisijainen näkökohta testilaitteen suunnittelussa ja toteutuksessa. Useita turvaominaisuuksia lisättiin henkilöstön suojaamiseksi ja onnettomuuksien estämiseksi. Näitä ominaisuuksia ovat: kaksi turvalaserverhoa, jotka luovat tunnistusalueet testialueen ympärille, mekaanisen oven turvalukko, mikä rajoittaa pääsyä testauksen aikana, hätäpysäytyskytkin, joka pysäyttää järjestelmän välittömästi hätätilanteessa, ja turvarele, joka valvoo turvakomponenttien tila. Näiden turvaominaisuuksien käyttöönotto sisälsi oikean johdotuksen, konfiguroinnin ja testauksen niiden luotettavan toiminnan varmistamiseksi.

6 OHJAUSSTRATEGIA JA ALGORITMIT

Laitetta ohjaa käyttäjä käyttöliittymäpaneelin välityksellä. Laitteen muistialueille on ladattu testattavien tuotteiden ja niiden testausominaisuuksien mukaiset reseptit. Käyttäjä valitsee halutun reseptin valikosta, jonka mukaan laite määrittelee kytkinkohtaiset raja- ja asetusarvot. Testausprosessi etenee askel askelelta eteenpäin käyttöliittymäpaneelilla, jolloin ohjelmallisesti prosessin seuraava vaihe joko alkaa, tai päättyy.

6.1 Reseptit

Tuotantoprosesseissa käytettävät reseptit ovat tuotteelle ominaisia tietovarastoja, jotka voidaan hakea pyynnöstä ja joka ottaa sitten käyttöön tuotteen tuottamiseksi, tässä tapauksessa testaamiseksi. Jokainen resepti sisältää joukon tuotantoprosessin kannalta tärkeitä parametreja. Reseptit ovat sovellettavissa vain, kun tuotetaan useampaa kuin yhtä tuotetta. Kun valmistetaan vain yhtä tuotetta, sen tuotannon parametrit asetetaan yksinkertaisesti automaatiojärjestelmään ja toistetaan kerta toisensa jälkeen. Kun taas valmistetaan useita tuotteita ja tuotantoparametrit vaihtelevat niiden välillä, reseptit tarjoavat keinon vaihtaa nopeasti ja tarkasti tuotteesta toiseen. (Automationdirect.)

Testilaitteen ohjelmaan on rakennettu muistialuelohko "Reseptit_DB". Resepteille varattu muistialuelohko on rakennettu matriisiksi, josta ohjelma osaa osoittaa oikeat parametriarvot riippuen sillä hetkellä valitusta testattavasta kytkintyyppistä.

6.2 Algoritmit ja signaalin prosessointi

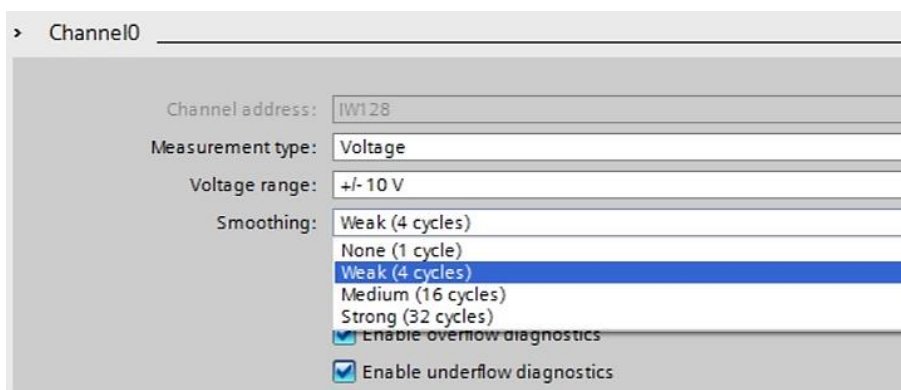
Algoritmi on sarja ohjeita, jotka on suunniteltu ratkaisemaan tietty ongelma tai suorittamaan tietyt tehtävät. Se toimii kuin vaiheittainen opastuspolku, joka kertoo, mitä toimia suorittaa ja missä järjestyksessä. Algoritmit ovat tärkeä osa koneautomaatiota.

Testilaitteen ohjelmassa keskiarvon laskentaan käytetty kirjasto "LGF_FloatingAverage V 1.0.5" sisältää algoritmin, mikä kerää oletusasetuksilla viimeiset 500 kpl desimaaliarvoa ja taulukoi ne muistiin sille osoitetulta muistialueelta ja laskee taulukoidun tiedon keskiarvon, jonka jälkeen kerätty tieto taulukoidaan alusta lähtien korvaten aiemmin kerätty tieto. Ohjelmablokin tunnus ohjelmassa on FB10031. Kirjastoilla tarkoitetaan ennalta ohjelmoituja ohjelmablokkeja, joita voidaan hyödyntää ohjelmoinnissa työkaluna.

6.2.1 Sijaintitieto

Testilaitte kerää sylinterin sijainnin tilatietoa SICK DT35 laseretäisyysanturilta, jonka signaalilähtö on kytketty PLC:n ensimmäiseen analogisisäätuloon, joten tieto kerätään ja esitetään muistialueelle IW64-65.

Kappaleessa 4.1.3 esitetyistä etäisyysanturin suorituskykyarvoista johtuva vahva tulosignaalin kohina täytyy prosessoida ennen tiedon käyttöä. Tämä prosessointi alkaa PLC:n asetuksista, joissa tulosignaalin kohinaa on mahdollisuus vaimentaa. Sisäänrakennettu "pehmennysominaisuus" vähentää kohinaa laskemalla sisääntulosignaalin lukukertojen tiedon keskiarvon 1 (ei pehmennystä), 4, 16 ja 32 luentasyklistä (kuva 28).



Kuva 28: PLC:n analogisisäätulon pehmennys Siemens TIA Portal asetuksissa (Vorapob. 2020.)

Ohjelmoinnin myöhemmässä vaiheessa käy ilmi, ettei laitteen sisäänrakennettu signaalinpehmennys riitä tulosignaalin stabilisoimiseksi riittävälle tasolle. Tästä syystä signaalin keskiarvoa lasketaan yhä edelleen käyttäen apuna Siemensin

kehittämää yleistä kirjastoa "LGF_FloatingAverage V 1.0.5" REAL-tyypin arvojen keskiarvon laskentaan..

6.2.2 Voimatieto

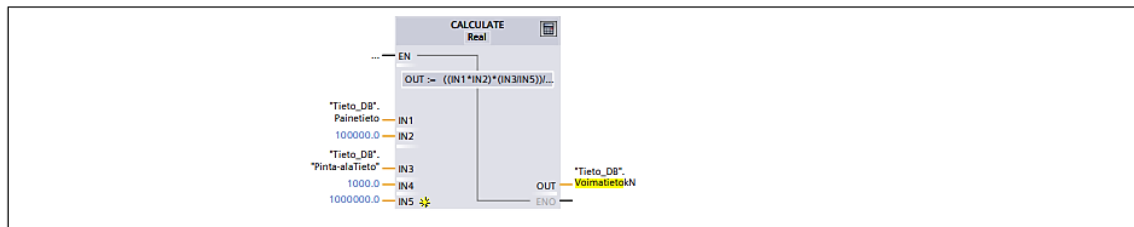
Testauksen olennaisena osana liikematkan tunnistuksen lisäksi on kytkimeen kohdistettu voima. Voiman mittaaminen on täten laitteen tärkeimpiä tehtäviä. Laite mittaa jatkuvasti hydraulijärjestelmästä painetietoa ohjelmaosiossa Main OB. Painetieto muutetaan logiikkaohjelmassa voimatiedoksi sisäänrakennetulla CALCULATE-funktiolla (kuva 29).

Kun sylinterin männän ja sen varren halkaisija tunnetaan, lasketaan sylinterin kunkin vaikutussuunnan pinta-ala seuraavilla kaavoilla:

$$\text{Puristussuunta: } A_p = \pi r^2$$

$$\text{Vetosuunta: } A_v = \pi r_1^2 - \pi r_2^2$$

missä r_2 on männän varren poikkileikkauksen säde.



Symbol	Address	Type	Comment
"Tieto_DB"."Pinta-alaTieto"		Real	Aktiivinen männän pinta-ala tieto [mm ²]
"Tieto_DB".Painetieto		Real	Vastaanotettu painetieto painelähttimeltä [bar]
"Tieto_DB".Voimatieto kN		Real	Laskettu voimatieto [kN]

Kuva 29: otos testilaitteen ohjelman rakenteesta, joka on vastuussa voimatiedon laskennasta muotoon kN.

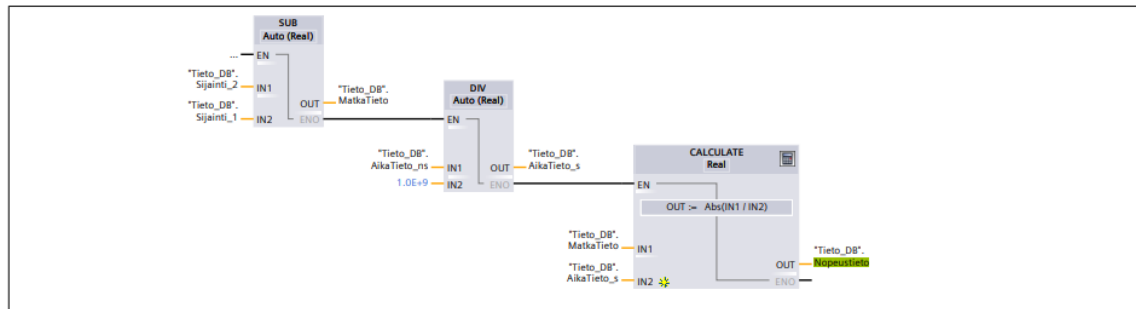
6.2.3 Liikenopeustieto

Yhtenä laitteen vaatimuksena oli kyky ylläpitää haluttua vakioliikenopeutta testauksen aikana. Testauksen liikenopeutena käytettiin vuoteen 2016 asti arvoa 10 mm/s, mikä on myös koneturvallisuusstandardin raja laitteen pääsyyn rajoittaville vaatimuksille, joten tätä pidettiin tavoitteena laitteen suunnittelussa.

Laite laskee jokaisella ohjelmasyklillä sen hetken liikenopeuden sijainti- ja kellotustiedon avulla omalla laskentafunktioiden ketjulla (kuva 30) kaavalla:

Liikenopeus:
$$v = \frac{dx}{dt}$$

missä dx on sijainnin erotus viimeisestä sijaintitiedosta ja dt ajan mittausten erotus.



Symbol	Address	Type	Comment
"Tieto_DB".AikaTieto_ns		Real	Aikatieto [ns]
"Tieto_DB".AikaTieto_s		Real	Aikatieto [s]
"Tieto_DB".MatkaTieto		Real	Kuljettu matka [mm]
"Tieto_DB".Nopeustieto		Real	Laskettu sylinterin nopeus [mm/s]
"Tieto_DB".Sijainti_1		Real	Tähän muuttujaan leimataan sijainti #1 [mm]
"Tieto_DB".Sijainti_2		Real	Tähän muuttujaan leimataan sijainti #2 [mm]

Kuva 30: otos testilaitteen ohjelman rakenteesta, joka on vastuussa nopeustiedon laskennasta muotoon mm/s

6.3 PID-säätö

Testilaitteen sylinterin liikenopeuden vakioimiseksi eri voima-alueilla oli käytettävä menetelmää, joka ottaa huomioon muutokset järjestelmässä ja säätää järjestelmän prosessisuureita muutosten korjaamiseksi. Tällaista säädintä kutsutaan PID-säätimeksi ja se on teollisuudessa yleisimmin käytetty säädin. Tässä kappaleessa käsitellään säätimen perustoimintaperiaatetta ja kerrotaan testilaitteen säätöön käytetystä Siemensin PID funktiosta.

PID-säädin on mekanismi, jota käytetään takaisinkytketyissä ohjauspiireissä prosessiparametrin arvon automaattiseen ylläpitoon. Yksinkertaisesti esitettynä PID algoritmi säätelee prosessimuuttujaa laskemalla ohjaussignaalin, joka on kolmen termin summa:

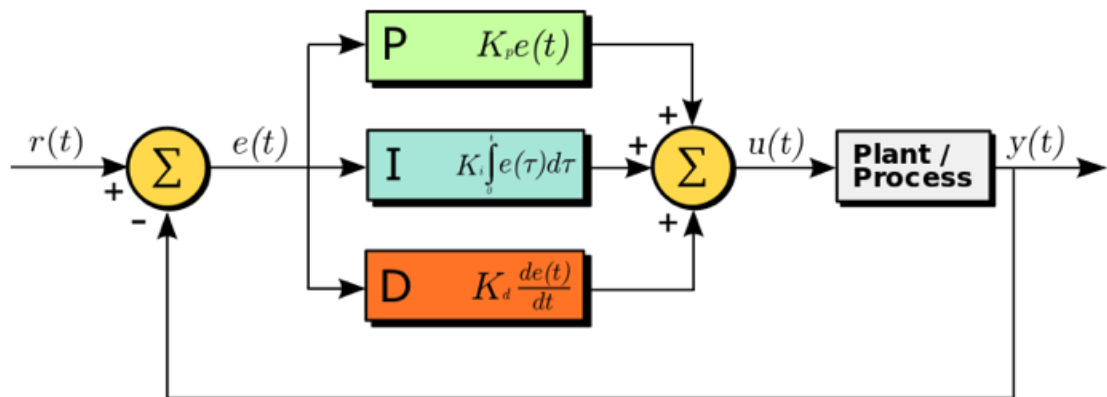
- P-osa, suhdetermi
- I-osa, integroiva termi

- D-osa, derivoiva termi

Termien laskennan seurauksena PID-säätimet voivat nopeasti ajaa prosessimuuttujan hyväksyttävälle alueelle, pitää tämän arvon halutulla tasolla ja reagoida ulkoisiin häiriöihin. (Yuldashev, Solovev. 2023.)

Yksi laitteen vaatimuksista on ylläpitää sylinterin liikenopeutta kunakin hetkenä halutulla nopeudella. Koska testauksen yhteydessä liikenopeutta voi häiritä oleellisesti testattavan kappaleen aiheuttama dynaaminen vastavoima ja sylinterin sisäiset kitkat, nopeuden säätöä on vahvistettava tai heikennettävä tilanteesta riippuen.

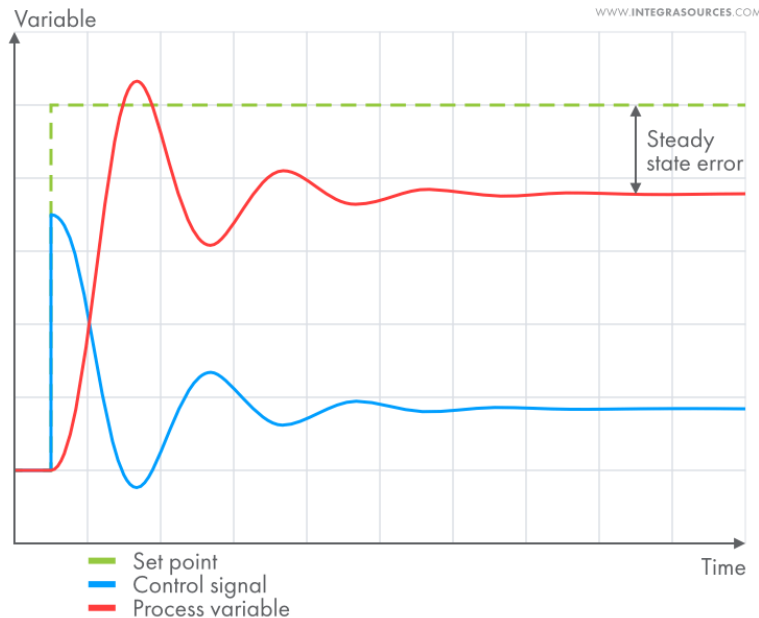
PID-säätimen proportionaalinen komponentti riippuu vain asetusarvon ja prosessisuureen välisestä erosta. Tätä eroa kutsutaan virhetermiksi. Suhteellinen vahvistusarvo (K_p) määrittää lähtösuureen suhteen asetusarvon ja lähtösuureen väliseen virhearvoon. Kuvassa 31 on esitetty PID-säätimen toiminnan prosessikaavio jossa $r(t)$ on asetusarvo ja $y(t)$ mitattu lähtösuure. Kaaviossa ohjaussignaali $u(t)$ muodostuu P, I ja D termien summasta.



Kuva 31: Tavanomainen PID-säätimen toiminnan prosessikaavio (Forrister, 2019).

Jos virhearvon suuruus on esimerkiksi 10, proportionaalisen komponentin vahvistusarvon (K_p) ollessa 5 tuottaa komponentti arvoksi 50. Yleisesti proportionaalisen vahvistusarvon lisääminen nostaa ohjausjärjestelmän vastenopeutta, mutta liian suurella vahvistusarvolla komponentti aiheuttaa

prosessimuuttujan värähtelyä, mikä voi olla ongelma järjestelmän kannalta. Jos proportionaalista vahvistusarvoa lisätään edelleen, värähtelyt kasvavat ja järjestelmä muuttuu epävakaaksi, jolloin haluttua asetuservoa ei koskaan saavuteta.

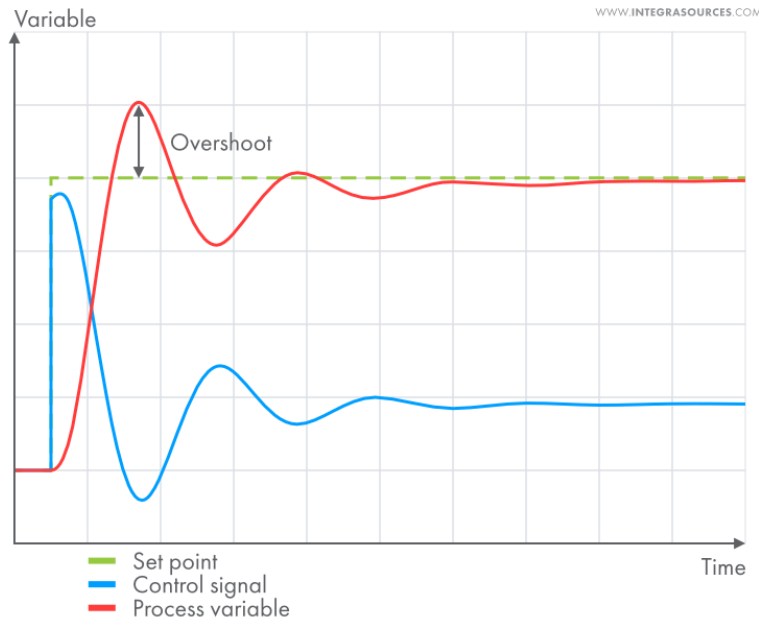


Kuva 32: Proportionaalisesti säätyvä P-säädin, missä vihreä katkoviiva on asetuservo, punainen viiva prosessisuure ja sininen viiva ohjaussignaali (Yuldashev, Solovev. 2023).

Pelkällä proportionaalisella termillä ohjattuna järjestelmän korjausliikkeet vastaavat ainoastaan suoraan verrannollisesti virheeseen. Tämä tarkoittaa, että kun prosessisuure on saavuttanut vakaan tilan, sen ja asetuservon välille jää aina järjestelmästä ja vahvistuskertoimen koosta riippuen niin kutsuttu vakaan tilan virhe (steady state error). Kuvassa 32 on visualisoitu proportionaalisen säätimen eri arvojen vaikutuksia toisiinsa.

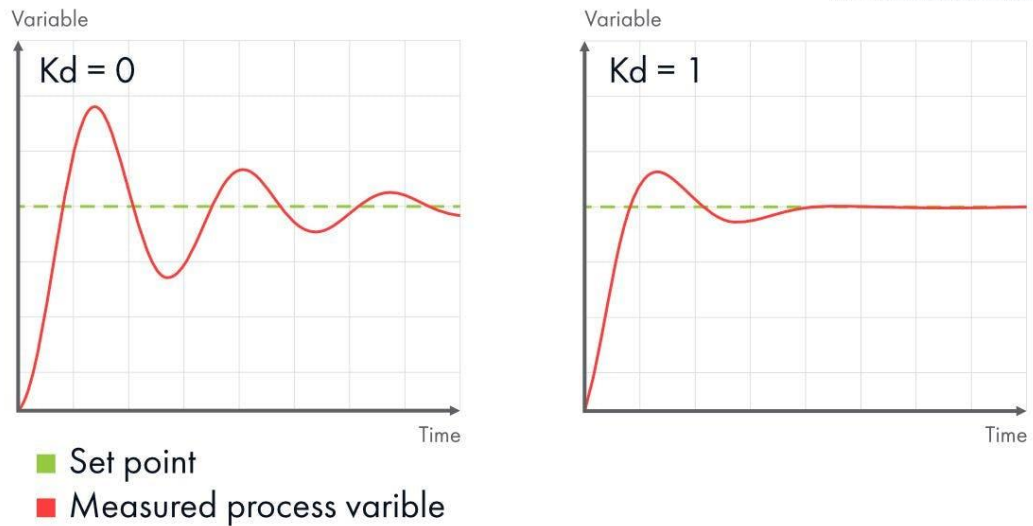
Lisäämällä yhtälöön integraalitermi saadaan aikaan PI-säädin. Termi summaa mennyttä virhesuuretta ajan suhteen ja vaikuttaa ohjaussignaaliin integroinnin mukaisesti. Tälläkin termillä on kuvan 31 mukaisesti vahvistusarvo (K_i), mikä määrittää integraalitermin vahvuuden samalla tavalla kuin P-termin vahvistusarvo (K_p). Integraalitermi oikein säädettyinä poistaa säädöstä vakaan tilan virheen, kuten kuvan 33 kuvaajasta voidaan havaita. Termin vahvistusarvon voi P-termin tapaan säätää liian suureksi, jolloin järjestelmään alkaa syntyä värähtelyä ja

lopulta järjestelmä muuttuu epävakaaksi. Liian alhainen I-termin vahvistusarvo taas puolestaan jättää järjestelmään vakaan tilan virheen. Termin virityksessä on oltava huolellinen ja tähän on olemassa monia työkaluja joita tämä opinnäytetyö ei käsittele yksilöllisellä tasolla.



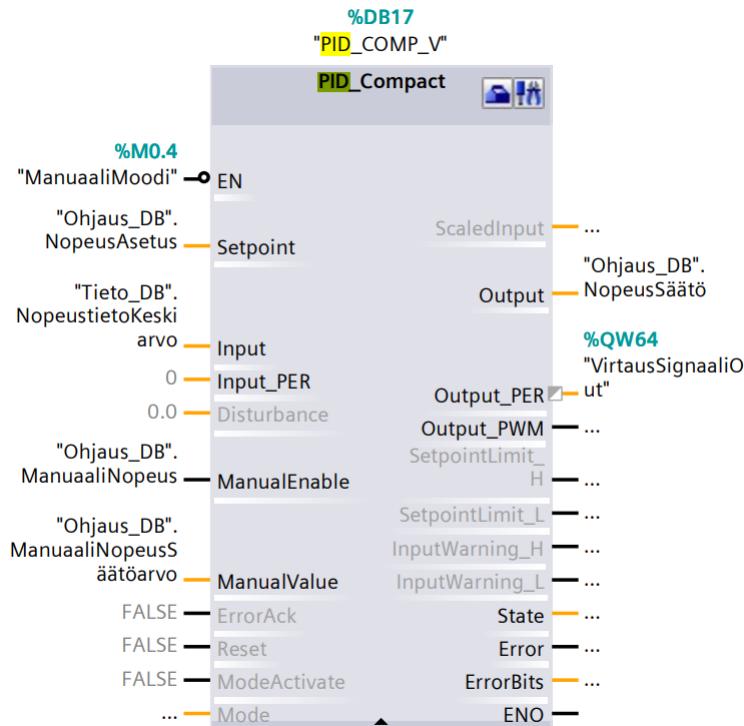
Kuva 33: PI-säätimen asetusarvon (vihr.), ohjaussignaalin (sin.) ja prosessisuureen (pun.) vaikutukset toisiinsa ajan suhteen, sekä ylitys (overshoot) (Yuldashev, Solovev. 2023).

Kuvasta 31 voidaan nähdä, miten D-termi säätelee ohjaussignaalia nykyisen ja aiempien virhearvojen erotuksella ajan suhteen. D-termin kulmakertoimen avulla ennustetaan tulevaa virhearvoa, joka otetaan huomioon PID-säätimen ohjaussignaalin muutoksissa. Tällä tavoin PID-säädin kompensoi äkillisiä muutoksia järjestelmässä, ehkäisee suuria ylityksiä ja vähentää järjestelmän värähtelyä. Kuvassa 34 on vertailtu PID-säädintä, jossa D-termin vahvistuskerroin (K_d) = 0 (yhtä kuin PI-säädin) termiin, jossa vahvistuskerroin = 1 (PID-säädin).



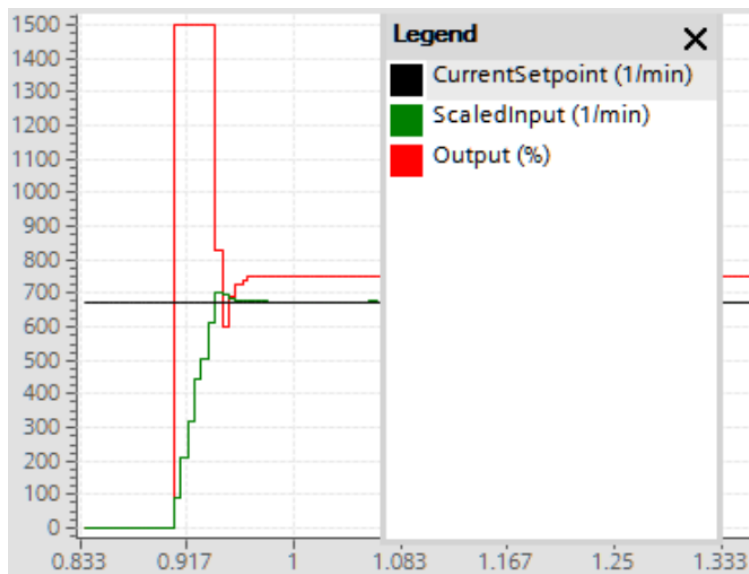
Kuva 34: PI-säädetyin prosessisuureen muutokset ajan suhteen (vas.) ja PID-säädetyin prosessisuureen muutokset ajan suhteen (oik.) (Yuldashev, Solovev. 2023).

Testilaitteen hydraulisylinlerin liikenopeuden säätämiseksi ja vakioinniksi PLC:n ohjelmassa hyödynnetään Siemensin kehittämää ohjelmallista PID Compact säädintä (kuva 35). Säätimen asetukset määritetään Siemensin TIA Portalin omalla säädinkonfiguraattorilla, jonka jälkeen siihen liitetään halutut muistialueet.



Kuva 35: Nopeuden säätöön käytetty Siemens TIA Portal –ohjelmiston sisäänrakennettu PID-säädin funktio

PID-säätimen "virittäminen" on tehty Siemensin ohjelmointialustassa hyvin yksinkertaiseksi. Kun PID-säätimen asetukset on määritetty, voidaan käyttää ohjelmiston sisäänrakennettua säätimen viritysohjelmistoa (kuva 36). Virityksen jälkeen PID-säätimen viritetyt aetusarvot lähetetään PLC:lle.



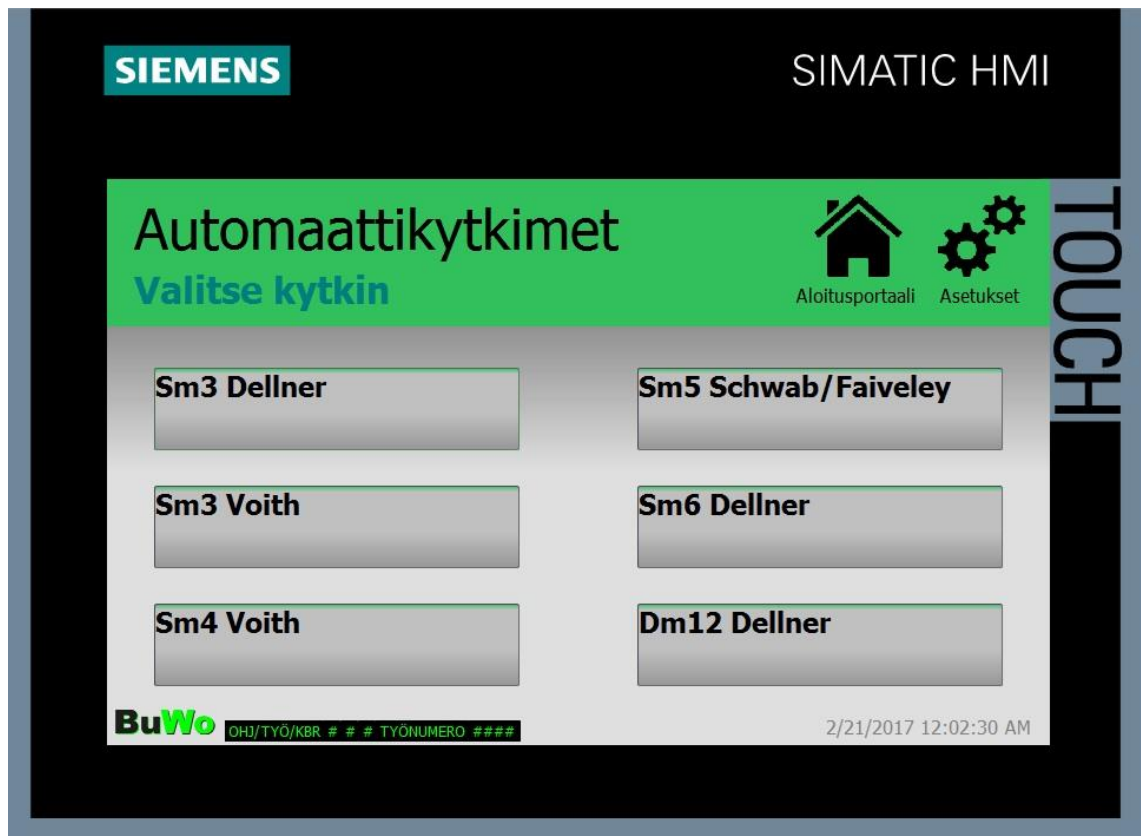
Kuva 36: PID-säätimen automaattinen viritys

7 TESTAUS JA RAPORTOINTI

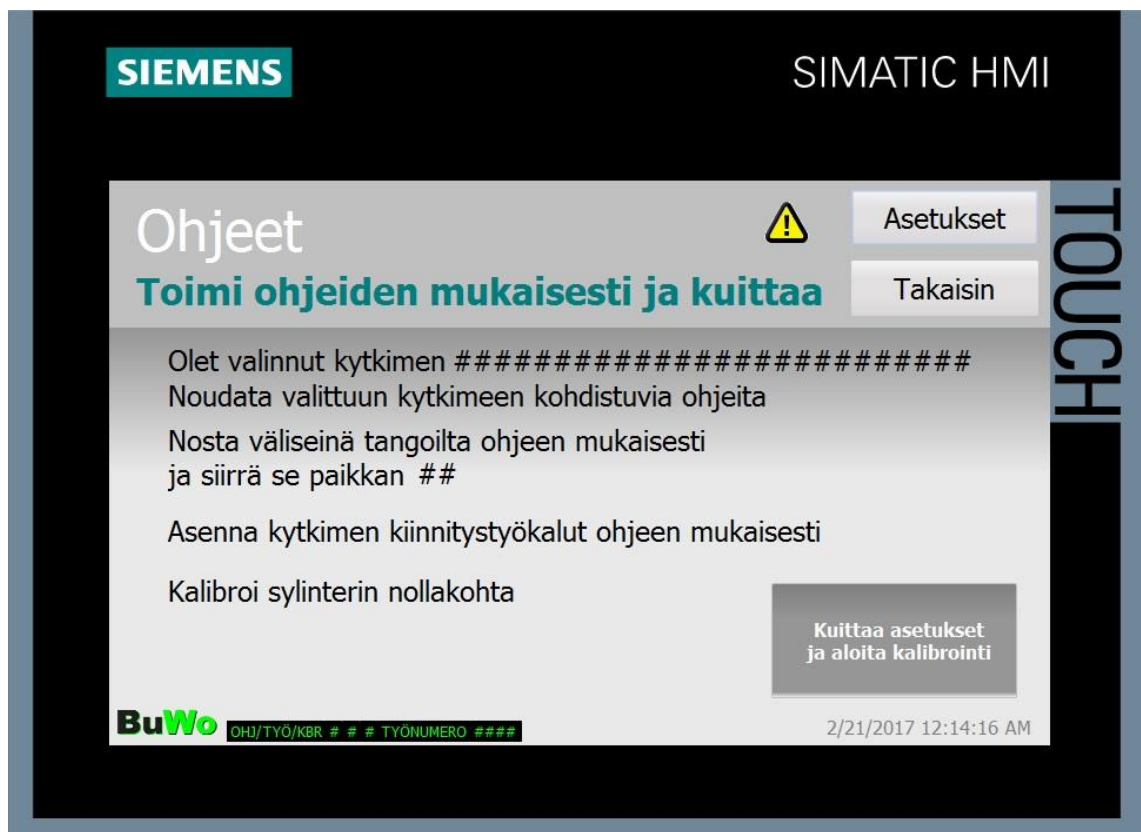
Tuotteen testaus tapahtuu täysin automaattisesti. Laitteen käynnistyttyä käyttöliittymäpaneelille avautuu aloitusportaali, josta käyttäjä valitsee onko testattava tuote automaatti- vai välilytkin (kuva 37). Valikossa edetessä järjestelmä kysyy kytkintyyppiä (kuva 38). Kun käyttäjä valitsee ja painaa testattavan kytkintyyppin painiketta, järjestelmä kirjaa valinnan muistiin ja käytettävissä oleva resepti määrittyy aktiiviseksi. Kytkimen valinnan jälkeen käyttäjän tulee asettaa laitteen teräsrakenteet erillisen ohjeen mukaisesti numeroiduille etäisyyksille, jotta kalibrointi voidaan suorittaa kalibrointinäkylässä (kuva 39). Käyttäjä painaa kalibroinnin jälkeen avautuvassa kuvaajanäkylässä käyttöliittymäpaneelin vihreää käynnistyspainiketta käynnistääkseen testauksen.



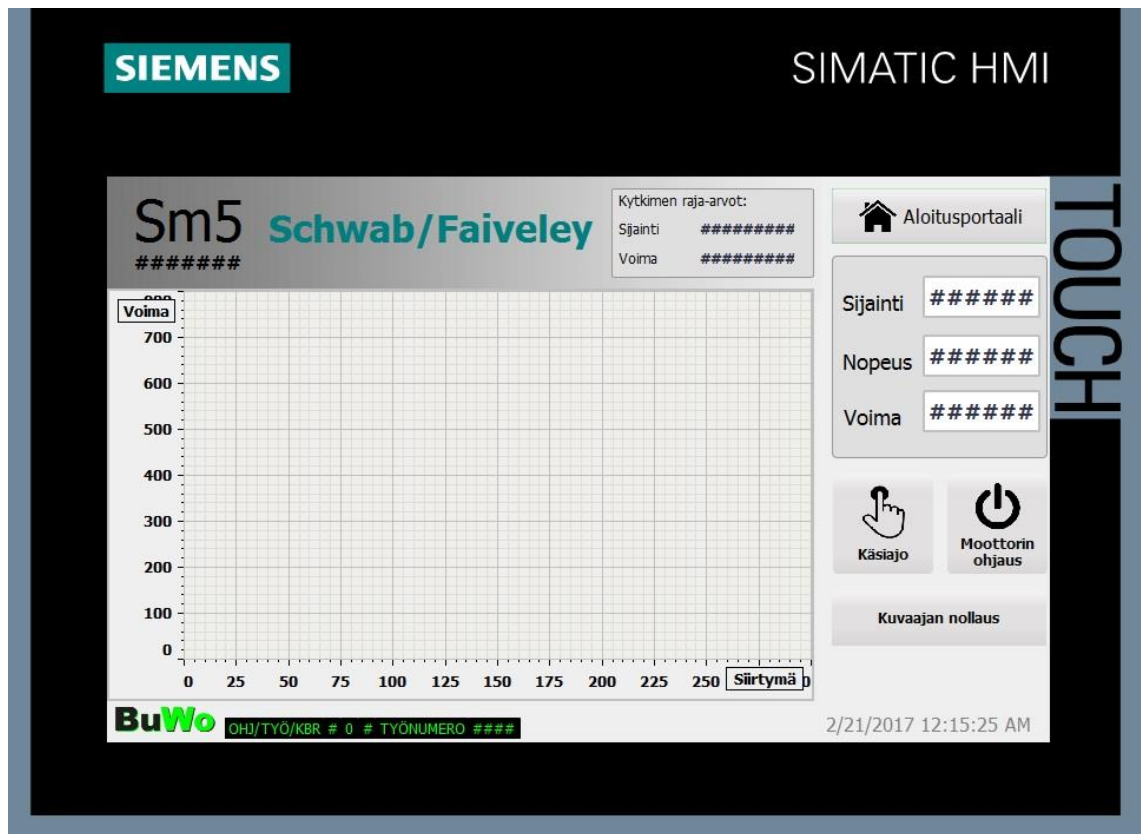
Kuva 37: Aloitusportaalinäkymä



Kuva 38: Automaattikytkinmallin valintanäkymä



Kuva 39: Työn valmistelun ja kalibroinnin ohjenäkymä



Kuva 40: Kuvaajanäkymä (työnäkymä)

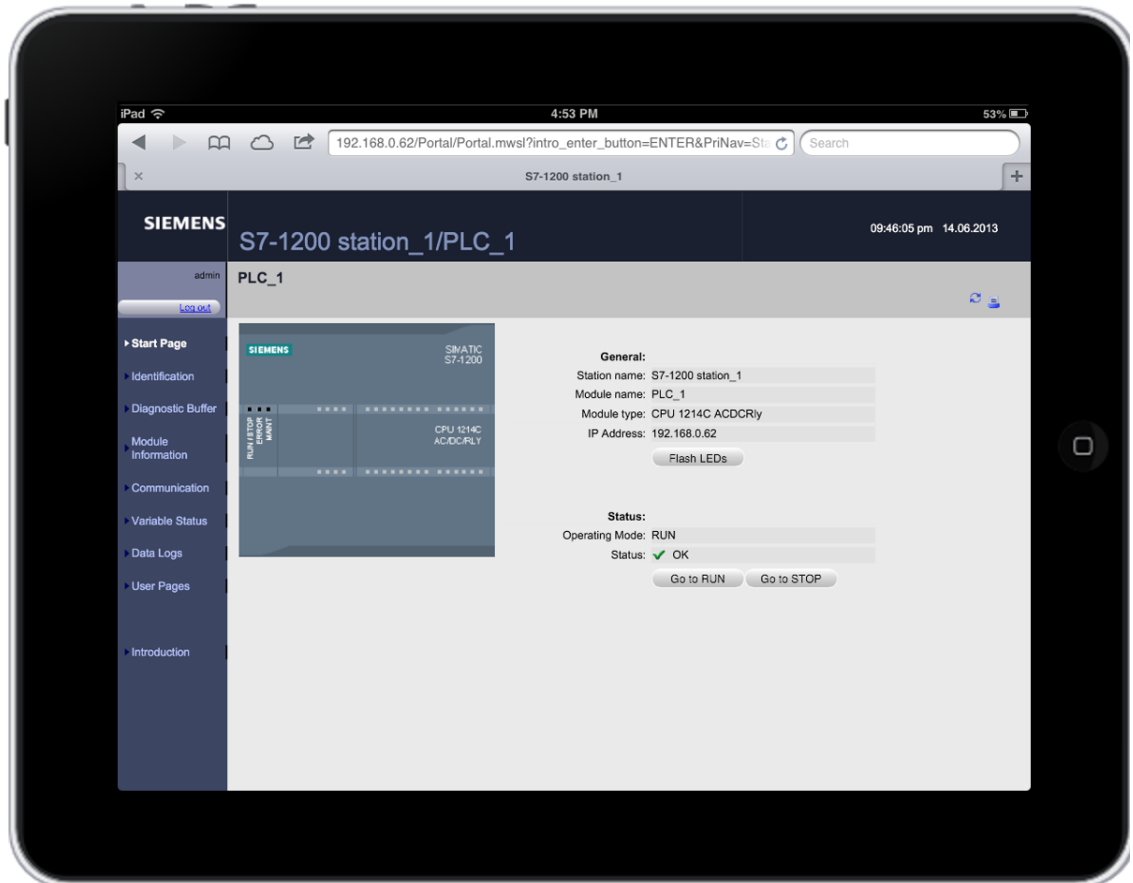
Laite korottaa hydrauliiikan painetta ja asettaa suuntaventtiilin oikeaan asentoon. Sylinteri alkaa liikkua. Kuvan 40 työnäkymän kuvaajassa näkyy reaaliajassa kuljettu matka ja kussakin kohdassa vaikuttava kuorma. Kun jokin testauksen raja-arvoista ylittyy, järjestelmä asettaa suuntaventtiilin neutraaliasentoon ja laite vapauttaa paineen järjestelmästä hidastetulla tahdilla. Mikäli kytkintä on testattava myös vetämällä, laite aloittaa tässä vaiheessa työkierron vetoprosessin.

Kun kaikki testauksen vaiheet on suoritettu, kerätyt tiedot tallentuvat HMI:n muistikortille, josta se on ladattavissa palvelimen kautta ja tunnistettavissa kytkimen sarjanumeron ja testausajankohdan avulla.

7.1 Tiedon taltiointi

Testitulosten ja datan keräykseen käytetään ohjelmassa ”Datan keräys” funktiota, joka kutsuttaessa siirtää sen hetken valikoidut järjestelmän tilatiedot ”Tieto_DB” muistilohkoon. Datan keräys käynnistetään työn aloituksen yhteydessä, jolloin veto- tai puristustyön aikana HMI:lla nähdään reaaliaikaista

dataa kuvaajalla. Samalla HMI kirjoittaa tiedot CSV (Comma Separated Value) tiedostoon, joka nimetään päivämäärän, kellonajan ja kytkimen sarjanumeron mukaan. CSV taulukko tallentuu sitten HMI:n ulkoiselle muistikortille ja se jaetaan lopulta Siemens S7-1200 PLC:n palvelimelle. Tiedostoihin pääsee käsiksi palvelimelta samassa lähiverkossa olevalta päätelaitteelta (kuva 38).



Kuva 38: Siemens S7-1200 verkkopalvelin esitettynä tablettitietokoneella. (Jager. 2013):

7.2 Testiraportti

Testiraportti muodostuu Excel-tiedostoon, jonka sisällön määrittää Buwo Oy:n kehittämä makro. Makron suorittaessa Excel-tiedosto hakee palvelimelta ladatusta CSV tiedostosta kaiken sille kirjoitetun testidatan ja muuttaa sen helposti ymmärrettävään ja esitettävään muotoon.

8 TULOKSET JA POHDINTA

Testilaitteen automaation toteutuksessa onnistuttiin. Automaatiosuunnittelun osuus laitteen valmistuksessa ylitti sille asetetun aikataulun. Tämä johtui pääasiassa testausmenettelystä, jossa laitteen PLC ohjelman toimintaa iteroitiin fyysisesti laitteen luona. Virtuaalisella simulointimenettelyllä olisi työtä voinut edistää kokoonpanohallin, sekä asiakkaan tilojen ulkopuolella ja allokoida työlle enemmän tunteja päivässä.

8.1 Järjestelmän suorituskyvyn ja tarkkuuden analyysi

Järjestelmän suorituskyky ylittää vaaditulle tasolle. Testilaitteella voidaan testata useita kytkimiä päivän aikana ja tuottaa testituloksista raportti, josta käy ilmi testitulokset.

Automaatiosuunnittelun osalta epäonnistuttiin siltä osin, että kiireen alla en suhtautunut riittävän kriittisesti etäisyysmittaustavan ja -laitteiston valintaan. Testauksen tarkoitettuun jo laboratoriolaitteen omaisessa koneessa on ehdottoman tärkeää, että jokainen mittalaite ylittää suorituskyvyltään vaaditulle tasolle. Kappaleessa 4.1.3 käsitellään sylinterin männän etäisyyden mittaukseen tarkoitettua laseretäisyysanturia. Valmistajan antamien tietojen (SICK, 2023) mukaan tavanomainen tarkkuus laitteella on ± 10 mm ja sen resoluutio on 0,1 mm. Tämä tarkoittaa että mitattaessa männän sijaintia puristaessa kytkintä etäisyydellä 290 mm voi todellinen etäisyys olla mitä tahansa 280-300 mm välillä. 10 mm yliveto tai -puristus saattaa pahimmassa tapauksessa aiheuttaa pysyvän vaurion sellaiselle kytkimelle, jonka mekaaninen joustoalue päättyy alle 10 mm päässä etäisyysraja-arvosta. Kytkimissä kuitenkin todellisuudessa on muun muassa mekaanisia joustinlevyjä sarjassa, jotka sallivat tällaiset ylitykset esimerkiksi junaonnettomuustilanteessa. Riski on kuitenkin olemassa, etenkin jo vaurioituneessa testattavassa kytkimessä.

Anturin resoluution ollessa 0,1 mm tarkoittaa se sitä, ettei anturi pysty tulkitsemaan tulosta alle 0,1 mm tarkkuuden. Resoluutio sinällään riittää, mutta jo yhden desimaalin tarkempi resoluutio tekisi mittaustuloksista huomattavasti

varmempia. Ohjelmallisesti resoluutio kompensoidaan laskemalla jatkuvasti mitatun arvon keskiarvoa useiden satojen mittaustulosten laajuudelta.

Menettelevän resoluution ja epätarkan tavanomaisen tarkkuuden yhteisseurauksena on villisti heittelevä mitattu raaka etäisyystieto ensimmäisen desimaalin jälkeen. Arvon satunnaisia suuria vaihteluita ja häiriöitä suodatetaan ensin raskaasti ohjelmassa ja suodatetusta tiedosta lasketaan raskas keskiarvo. Tämä johtaa tasaisempaan ja käytettävämpään mittaustulokseen, mutta hinta sille on etäisyysmittauksen hidas reaktioaika. Ongelma olisi helposti ratkaistavissa valitsemalla etäisyysmittaukseen toinen, kenties mekaaninen menetelmä.

8.2 Tulosten vertailu vaatimuksiin

Taulukossa 2 vertaillaan työn tulosta liitteen 3 vaatimuslistan vaatimuksiin, mitkä liittyvät tämän opinnäytetyön rajaukseen, eli laitteen automaatioon. Vaatimuslista on juonnettu automaatti- ja välilytkinten testilaitteen esimäärittelydokumentista ja validoitu asiakkaalla ennen työn aloitusta.

Taulukko 2: Testilaitteen vaatimuslistan (Liite 3) vaatimusten vertailu lopputulokseen.

Nro.	Vaatusmus	Lopputulos
5	Testilaitteessa tulee olla näyttö- ja tiedonkeruuyksikkö.	Laitteeseen on valittu Siemens TP700 Comfort kosketusnäytöllinen käyttöliittymäpaneeli, mikä on vastuussa muun muassa tiedonkeruusta.
7	Testilaitteen tiedonkeruuyksikön tulee piirtää matka/voima-kuvaaja.	Työn aikana käyttöliittymäpaneeli piirtää matka/voima-kuvaajan reaaliajassa järjestelmän tilatiedoista.
8	Testilaitteen tiedonkeruuyksikössä tulee olla massamuistiliitäntä.	TP700 käyttöliittymäpaneeliin on yhdistettävissä tavanomaisen USB massamuistin lisäksi SD-muistikortti.
13	Testilaitteen puristus- ja vetovoiman mittauksen tarkkuuden tulee olla vähintään $\pm 1\%$ koko mittausalueella.	IFM PT3550 painelähettimen yhteisvirhealueen tarkkuus on noin 1% ja hyväksyttävällä tasolla.
15	Testilaitteen puristus- ja vetonopeus tulee olla säädettävissä 2 ... 6 mm/s.	Liikenopeudet on säädetty sovitusti vakioiksi resepteihin ja ne vaihtelevat kytkinmallista riippuen 4 ja 6 mm/s välillä. Erillisestä säädöstä luovuttiin yhdessä kohdan 35 kanssa.
17	Testilaitteen liikematkan nollakohdan tulee olla käyttäjän määriteltävissä.	Testitulokset tallentuvat laitteen sisäiseen muistiin. Muistin sisältö on tulostettavissa palvelimelta Excel – makrolla, tai tallennettavissa ulkoiselle muistilaitteelle.
26	Testilaitteen testitulokset tulee esittää voima/liikematkan funktiona.	Testitulokset esitetään voima/liikematkan funktiona.
27	Testilaitteen testitulosten tulee tallentua laitteen muistiin.	Testitulokset tallentuu laitteen muistiin kunkin testin päätyttyä.
28	Testilaitteen tiedonkeruuyksikön muistin sisällön tulee olla tulostettavissa käyttäjän toimesta.	Muistin sisältö on ladattavissa palvelimelta ja tulostettavissa käyttäjän toimesta erillisellä Excel-makrolla.

29	Testilaitteen testitulokset tulee voida siirtää myös ulkoiselle tallennusvälineelle.	Testitulokset on siirrettävissä myös ulkoiselle tallennusvälineelle.
30	Testilaitteen testituloksen voima-arvot tulee esittää liikematkan suhteen 5 mm välein, tai tiheämmin.	Testituloksen voima-arvo esitetään liikematkan suhteen < 5mm välein.
31	Testilaitteen mittaustuloksiin tulee tallentaa mittauskuvaaja.	Kuvaaja luodaan tallennetuista tiedoista Excel-makron avulla, jonka jälkeen kuvaaja on tallennettavissa.
32	Testilaitteen mittaustuloksiin tulee tallentaa aikaleima.	Mittaustulos rekisteröi aikaleiman mittaukselle.
33	Testilaitteen mittaustuloksiin tulee tallentaa tuotteen yksilönumero.	Mittaustulokseen tallennetaan käyttäjän määrittämä tuotteen yksilönumero.
34	Testilaitteen mittaustuloksiin tulee tallentaa juokseva numero mittauskertojen mukaan.	Mittaustulos rekisteröi juoksevan numeron mittauskertojen mukaan.
35	Testilaitteen tiedonkeruuyksiköllä tulee voida ennalta ohjelmoida tuotekohtaiset reseptit laitteen muistiin.	Käyttöliittymäpaneelilla ei voi määrittää reseptien sisältöä. Tästä vaatimuksesta luovuttiin yhdessä asiakkaan kanssa, jotta laitteelle ei voi määrittää virheellisiä testiraja-arvoja.
36	Testilaitteen tiedonkeruuyksikön tuotereseptin tulee pitää sisällään sallitut rajat voima/matka-parametreille.	Kaikki tuotteille määritetyt sallitut testiraja-arvot on taulukoitu laitteen PLC:n muistiin.

8.3 Pohdintaa toteutuksen aikana kohdatuista haasteista

Suunnitteleamalla järjestelmälle simulaatioympäristön ohjelman testausta varten jo projektin alkuvaiheilla olisi välttytty suurimmalta osalta ongelmista ja säästetty kallisarvoista työvoimaresurssia. Laitteen työkierto kestää kokonaisuudessaan noin viisi minuuttia laitteen käynnistyksestä testin loppuun. Vian etsintä saattoi kuluttaa useita työkiertoja ja ohjelmallisia virheitä saattoi tilanteesta riippuen olla useita samanaikaisesti. Tämä johti useaan otteeseen tuntien selvittämiseen, mikä olisi voitu välttää edellä mainituilla toimenpiteillä.

Haasteeksi koitui myös ohjelmoinnin alkuvaiheilla globaalien muuttujien ylenpalttinen käyttö. Globaalit muuttujat ovat tehokkaita työkaluja ohjausstrategian optimoimisessa, mutta niiden liiallinen sisällytys ohjelmaan aiheuttaa esimerkiksi tilanteita, missä muuttujan arvo jää jollekin ei-halutulle alueelle esimerkiksi kun ohjelmassa suoritetaan prosessin keskeytys. Kun automaattinen prosessi taas käynnistetään, tai toinen prosessi joka lukee samaa globaalia muuttujaa, arvo on eri kuin suunnitellussa lähtötilanteessa, mikä voi pahimmassa tapauksessa johtaa vaaratilanteisiin.

Vaikka tarpeettomista globaalien muuttujien käytöstä pyrittiin pääsemään eroon korvaamalla globaalit muuttujat ohjelmalohkojen paikallisilla muuttujilla, laitteen käyttäjää kehoitetaan katkaisemaan laitteelta virta pääkytkimestä kunkin testauskerran jälkeen.

LÄHTEET

VR Group. 2016. Vuosiraportti 2016 <https://2016.vrgroupraportti.fi/fi/>

Livady. 2012. Konepaja-alue ja kaupunkirakenne, https://livady.fi/wp-content/uploads/Konepaja_Alue-ja-kaupunkirakenne.pdf

Dellner. 2008. Tekninen kuvaus Automaattikytkin, sivu 9.

Dellner. 2023. Semi-permanent couplers for passenger trains. <https://www.dellner.com/products/semi-permanent-couplers>

Dellner. 1999. Tekninen piirustus. PL-79015.

Dellner. 2023. Automatic coupler type 10 for regional & intercity, high-speed trains and railcars. <https://www.dellner.com/products/automatic-couplers/automatic-coupler-type-10>

VR Group. 2016. Sm5 kytkimen mitoituspiirustus.

IFM. 2023. Pressure transmitter PT3550. <https://www.ifm.com/us/en/product/PT3550>

SICK. 2023. DT35 Product Data Sheet, sivut 2-3. https://cdn.sick.com/media/pdf/3/53/353/dataSheet_DT35-B15251_1057652_en.pdf

Alanko J. 2017. Hydraulisen testilaitteen sähköistys.

Teknocontrol.com. 2023. https://siemens.teknocontrol.com/wp-content/uploads/2020/10/P_KT01_XX_01295P.png

Automaatioseura.fi. 2023, sivu 16. Automaatiosuunnittelun prosessimalli. https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/automaatiosuunnittelun_prosessimalli.pdf

Siemens. 2023. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>

Siemens. 2023. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal/software/step7-tia-portal.html>

Siemens. 2014, sivu 13. Cycle and reaction times function manual. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/558/59193558/att_112303/v1/s7150_0_cycle_and_reaction_times_function_manual_en-US_en-US.pdf

University of Plymouth. 2023. Digital Signal (Glossary Entry). <https://blogs.plymouth.ac.uk/embedded-systems/glossary-2/digital-signal-glossary-entry/>

Baloch Sajid. 2013. Engineer's Knowledge. <http://engineersknowledge.blogspot.com/2013/03/periodic-analog-signals.html>

Siemens. 2014, sivut 9-13. Analog value processing. <https://www.scribd.com/document/369687135/s71500-Analog-Value-Processing-Manual>

Automationdirect.com. 2023. Learn about HMI recipes. <https://library.automationdirect.com/learn-about-hmi-recipes/>

Vorapob. Siemens. 2020. <https://support.industry.siemens.com/forum/fi/en/posts/how-to-setting-analog-input-smoothing/244509>

Integra Sources. Yuldashev, Solovev. 2023. Basics of PID controllers: design, applications, advantages & disadvantages. <https://www.integrasources.com/blog/basics-of-pid-controllers-design-applications/>

Comsol. Forrister. 2019. Optimizing PID controller performance with COMSOL Multiphysics®. <https://www.comsol.it/blogs/optimizing-pid-controller-performance-with-comsol-multiphysics/>

LIITTEET

Liite 1. Esimäärittely vaatimuslista

Vaatimuslista_VRAKTL

Vaatimuslista automaattikytkinten testilaitteelle teknisen määrittelyn mukaan

Laadittu 31.3.2016

Nro	Prioriteetti	Kategoria	Sidosryhmä	Taso	Toiminnallinen/ ei-toiminnallinen	Vaatus	Seloste
1	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteella tulee olla runko	
2	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen rungossa tulee olla tuetkohtaiset vaihdettavat kiinnittimet	
3	Pakollinen	Toimilaitte	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteen vortantuuvoimavälityksen päätoimilaitteen tulee olla sylinteri	
4	Pakollinen	Toimilaitte	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen vortantuuvoimavälityksen päätoimilaitteen tulee olla sylinteri	
5	Pakollinen	Elektronikka	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteessa tulee olla näyttö- ja tiedonkeruuyksikkö	
6	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen näyttö- ja tiedonkeruuyksikön tulee olla liikuteltavissa	
7	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen tiedonkeruuyksikön tulee piirtää matka/voima-kuvaaja	
8	Pakollinen	Elektronikka	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteen tiedonkeruuyksikössä tulee olla massamuistilaitteita	
9	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen tulee pystyä testaamaan määrättyä nopeudella SMS veto- ja puskinlaitteen vaimennusvoiman suhde liikkematkaan	
10	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen mitausuunaman tulee olla vaakaasuunta	
11	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen sylinterin tulee pystyä puristamaan, sekä vetämään 900 KN voimalla vaakaasuunnassa	
12	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen ei tule missään olosuhteissa puristaa automaattikytkintä yli 700 KN voimalla	
13	Pakollinen	Anturi	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen puristus- ja vetovoiman mittauksen tarkkuuden tulee olla vähintään ± 1 % koko mittausalueella	
14	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen vaadittu puristus- ja vetonopeus on 4 mm/s ± 0,4 mm	
15	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen puristus- ja vetonopeus tulee olla säädettävissä 2 ... 6 mm/s	
16	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen puristusliikematkan tulee olla 0 ... 300 mm tai enemmän	
17	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen liikkematkan nollakohtaan tulee olla käyttäjän määriteltävissä	
18	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteen rungon tulee olla mitoitettu siten, että suurin testattava automaattikytkin (SMS) mahtuu asettumaan sen sisään	
19	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteen rungon osien tulee olla mitoitettu siten, ettei testilaitteessa tapahdu muodonmuutoksia	
20	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteella testattavan tuotteen kiinnitys tulee tapahtua sen palstään erillisen kiinnitysohjelman mukaan	
21	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteella testattava tuotetta tulee tukea keskivaiheelta kiinteästi osuudesta	
22	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteella testattavan tuotteen tyyppikaasun käytöllä kiinnittämisen tulee olla luokseppästävä sen ollessa kiinnitetty testilaitteeseen	
23	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteen kiinnityselementtien tulee olla tuetkohtaisia	
24	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen kiinnityselementtien tulee olla vaihdettavissa	
25	Pakollinen	Mekanikka	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteen rungon tulee olla mitoitettu siten, että tuote voidaan laskea nostimella kiinnittimien varaan	
26	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen testausolosuhteet tulee esittää voima/liikematkan funktiona	x = liikkematka, y = voima
27	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen testausolosuhteet tulee tallentaa laitteen muistiin	
28	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteen tiedonkeruuyksikön muistin sisällön tulee olla tulostettavissa käyttäjän toimesta	
29	Pakollinen	Elektronikka	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen testausolosuhteet tulee voida siirtää myös ulkoiselle tallennusvälineelle	USB
30	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen testausolosuhteiden voima-arvot tulee esittää liikkematkan suhteen 5 mm välein, tai tietympään	
31	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen mittausolosuhteet tulee tallentaa mittauskuvaaja	Käsin syötettävä
32	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen mittausolosuhteet tulee tallentaa alkaleima	
33	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen mittausolosuhteet tulee tallentaa tuotteen yksilönumero	
34	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen mittausolosuhteet tulee tallentaa juokseva numero mittauskertojen mukaan	
35	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen tiedonkeruuyksiköllä tulee voida ennaltohojelmoida tuetkohtaiset reseptit laitteen muistiin	
36	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteen tiedonkeruuyksikön tuetreseptin tulee pitää sisällään sallitut rajat voima/matka-parametreille	
37	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteen tulee noudattaa voimavälityksen kontruktio- ja turvallisuusdirektiivejä	
38	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteen tulee noudattaa ergonomian ja ympäristöturvallisuuden suhteen laadittuja määräyksiä	
39	Pakollinen	Toimilaitte	Yritys	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteelle tulee tehdä riskienarvioint	Kaikki laitteen osa-alueet Käyttöympäristö huomioiden
40	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteessa käytävistä aineista tulee toimittaa suomenkieliset käyttöturvallisuus tiedot	
41	Vaihtoehtoinen	Ohjelmisto	Yritys	System	Ei-toiminnallinen	Testilaitteelle tulee myöntää CE-merkintä	
42	Pakollinen	Ohjelmisto	Käyttäjät	System	Toiminnallinen	Testilaitteella tulee voida käyttää normaalissa konepajaympäristössä	Lämpötilaolosuhteet +15 ... +35 °C
43	Pakollinen	Ohjelmisto	Yritys	System	Toiminnallinen	Testilaitteen suunnittelun käytön tulee olla 40 vuotta käyttönoitopäivästä alkaen	Laitteella testataan vuosittain n. 300 testisykliä

Liite 2. Ohjelmoitavan logiikan I/O-lista

I/O-Lista		Versio: 2.0			
#	Toiminto	Tyyppi	I/O	Osoite	Pinni
1	Laseretäisyysmittarin luku	Analog	Input	IW64	AI0
2	Laseretäisyysmittarin +	PWR	Input	PLC	L+ 24 VDC
3	Laseretäisyysmittarin -	PWR	Input	PLC	3M
4	Painelähtetimen luku	Analog	Input	IW66	AI1
5	Painelähtetimen +	PWR	Input	PLC	L+ 24 VDC
6	Painelähtetimen -	PWR	Input	PLC	3M
7	Propokortin ohjaus (virtausventtiili)	Analog	Output	QW64	AQ0
8	Propokortin ohjaus (paineenrajoitusventtiili)	Analog	Output	QW66	AQ1
9	Suuntaventtiilin ohjaus Y1	Digital	Output	Q0.0	DQ a .0
10	Suuntaventtiilin ohjaus Y2	Digital	Output	Q0.1	DQ a .1
11	Moottorin ohjaus	Digital	Output	Q0.2	DQ a.2
12	Painelähtetimen valinnan ohjaus	Digital	Output	Q0.3	DQ a.3
13	Kuittauspainikkeen taustavalon ohjaus	Digital	Output	Q0.4	DQ a.4
14	Pintavahdin luku	Digital	Input	I0.0	DI a .0
15	Turvapiiriin tilan luku (kontaktorilta)	Digital	Input	I0.1	DI a .1
16	Käynnistyspainike	Digital	Input	I0.2	DI a .2
17	Kuittauspainike	Digital	Input	I0.3	DI a .3
18	Pysäytyspainike	Digital	Input	I0.4	DI a .4
19					
20	HMI-yhteys	Ethernet	I/O	PNIE_1	PN2 (HMI)
21	HMI-yhteys	Ethernet	I/O	PNIE_1	PN2 (PLC)
22					
23	230 VAC	PWR	N/A	PSU100S	INPUT
24	24 VDC	PWR	N/A	HMI	INPUT
25	24 VDC	PWR	N/A	PLC	INPUT
26					
27					