

Markus Laakkonen

AUTOMAATIOLABORATORION VISUALISOINTI JA KÄYTTÖVARMUUDEN PARANTAMINEN

AUTOMAATIOLABORATORION VISUALISOINTI JA KÄYTTÖVARMUUDEN PARANTAMINEN

Markus Laakkonen
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka, Automaatiotekniikka

Tekijä: Markus Laakkonen
Opinnäytetyön nimi: Automaatiolaboratorion visualisointi ja käyttövarmuuden parantaminen
Työn ohjaaja: Tero Hietanen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021
Sivumäärä: 66

Tässä opinnäytetyössä käsitellään automaatiotekniikan opintosuunnitelman kursseja ja niihin liittyviä laboratorion laitteistoja. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä kursseista ja laboratoriolaitteistosta esittely- ja videomateriaalia, ohjeita ja toiminnallisia kuvauksia. Laboratoriolaitteistolle luotiin myös laite- ja dokumentaatiolistaukset käyttämällä ALMA-tiedonhallintajärjestelmää. Työ on pääosin tarkoitettu alasta kiinnostuneille verkkovierailua varten sekä ensimmäisen vuoden opiskelijoille.

Työ aloitettiin perehtymällä tiettyjen kurssien sisältöihin ja niissä käytettäviin automaatiolaitteistoihin. Kun kurssien sisältö ja laitteistojen rakenne ja toiminta olivat hallussa, alettiin niistä kirjoittamaan esittelymateriaalia. Työn loppuvaiheessa alettiin luomaan kursseista ja laitteistoista videomateriaalia, jossa demonstroidaan eri prosessien toimintaa ja esitellään kurssien sisältöä. Viimeiseksi tehtiin automaatiolaitteistolle laite- ja dokumentaatiolistaukset ALMA-tiedonhallintajärjestelmällä.

Työn lopputuloksena saatiin runsaasti automaatiotekniikan opintojen esittelymateriaalia, jota voidaan käyttää esittelyyn alasta kiinnostuneille sekä myös opinnoissa hyväksi. ALMA-osion avulla pystytään helposti löytämään automaatiolaitteistojen ja niiden osaprosessien tarpeelliset dokumentaatiot sekä näkemään laitteistojen sisältämät osat ja komponentit.

Asiasanat: automaatio, logiikka, ohjelmointi, käyttöliittymä

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical and Automation Engineering, Automation Engineering

Author: Markus Laakkonen

Title of thesis: Visualization of Automation Laboratory and Improvement of Dependability

Supervisor: Tero Hietanen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Number of pages: 66

This thesis covers automation engineering studies and related laboratory equipment. The aim of the thesis was to make presentation and video material, instructions and functional descriptions of the courses and laboratory equipment. Equipment and documentation listings were also created for the laboratory equipment using the ALMA information management system. The thesis is mainly intended for web visits to our school as well as first year students who are interested in the field.

The work began with getting to know the courses and related automation equipment. Once the content of the courses and the structure and operation of related machinery was known, began the material creating part. Towards the end of the schedule, video material on the courses and equipment was created, demonstrating the operation of the various processes, and presenting the content of the relevant courses. Finally, the equipment and documentation listings were made for the automation equipment using the ALMA information management system.

The result of the thesis is a lot of presentational material for studies in automation engineering, which can be used for presentation for those interested in the field and for help in studies. With the help of the ALMA section, it is easy to find the necessary documentation about the relevant automation equipment and its sub-processes, as well as to see the parts and components that belong to the process.

Keywords: automation, logic, programming, user interface

SISÄLLYS

LYHENTEET.....	7
1 JOHDANTO	8
2 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ.....	9
2.1 Automaatiojärjestelmän toiminta ja rakenne.....	9
2.2 Ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller).....	10
2.3 Logiikan tulot ja lähdöt (I/O).....	11
2.4 Logiikkaohjelmointi	12
3 OHJAUSTEKNIIKAN PROJEKTI.....	14
3.1 Festo MPS-laitteisto	14
3.2 Omron CP1L-logiikka	17
3.3 Omron CX-One ja CX-Programmer.....	18
4 AUTOMAATION IOT-PROJEKTI.....	21
4.1 IoT- ja IIoT-käsitteet	21
4.2 ThingSpeak	22
4.3 MindSphere	23
4.4 Raspberry Pi.....	24
5 PRODUCTION AUTOMATION PROJECT	25
5.1 Rumpuprojekti	25
5.1.1 Turvalogiikka.....	26
5.1.2 SAFECONF	27
5.1.3 PC WORX.....	28
5.2 Siemens TIA Portal -projektityö	30
5.3 PILOT-prosessi	32
5.3.1 Siemens SIMATIC PCS 7 -järjestelmä.....	34
5.3.2 Simatic Manager	34
5.3.3 CFC-editor	36
5.3.4 SFC.....	37
5.3.5 WinCC	38
6 PROSESSIAUTOMAATION PROJEKTI.....	40
6.1 Valmet DNA.....	40
6.2 EAS-palvelin ja etäyhteys.....	41

6.3	Valmet DNA-projektityö	42
6.3.1	Function Block CAD (FbCAD)	42
6.3.2	Picture Designer	44
6.4	Pumpun ja virtausmittauksen projektityö	45
6.5	Prosessisimulaattorit	49
6.5.1	Voimalaitossimulaattori	49
6.5.2	Mining-simulaattori	51
7	CONTROL ENGINEERING	53
7.1	Säätötekniikka	53
7.1.1	PID-säädin (Proportional-Integral-Derivative)	54
7.1.2	Säätösuunnittelun tavoitteet	56
7.2	GNU Octave	56
7.3	Säätötekniikan harjoittelu kannettavan Valmet DNA-laitteiston avulla	57
8	LAITE- JA DOKUMENTAATIOLISTAUKSET ALMA-OHJELMISTOLLA	61
9	POHDINTA	64
	LÄHTEET	65

LYHENTEET

CAD	Computer-Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CFC	Continuous Function Chart, graafinen sovelluseditori
CPU	Central Processing Unit, prosessori
EAS	Engineering Activity Server, suunnittelupalvelin
FBD	Function Block Diagram, toimilohkokaavio
GNU	GNU's Not Unix, vapaa käyttöjärjestelmä
GPIO	General Purpose Input/Output, yleiskäyttöinen tulo ja lähtö
HW	Hardware, laitteisto
I/O	Input/Output, tulo ja lähtö
IIoT	Industrial Internet of Things, teollinen internet
IoT	Internet of Things, esineiden internet
LD	Ladder Diagram, tikapuukaavio
MPS	Modular Production System, modulaarinen tuotantojärjestelmä
PaaS	Platform-as-a-Service, pilvipalvelualusta
PCS	Process Control System, prosessinhallintajärjestelmä
PID	Proportional-Integral-Derivative, suhde-integrointi-derivointi
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
PSU	Power Supply Unit, virtalähde
SFC	Sequential Function Chart, sekvenssityyppinen ohjelmointikieli
ST	Structured Text, strukturoitu teksti
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal, täysin integroitu automaatio
Valmet DNA	Valmet Dynamic Network of Applications, Valmetin dynaaminen sovellusverkko

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on perehtyä tiettyihin automaatiotekniikan opintosuunnitelman kursseihin ja hybridilaboratorion automaatiolaitteistoon ja luoda niistä esittelymateriaalia ensimmäisen vuoden opiskelijoille ja alasta kiinnostuneille. Laitteistosta ja kurssien sisällöstä luodaan ohjeita, toiminnallisia kuvauksia, videomateriaalia sekä muuta esittelymateriaalia. Automaatiolaboratorion laitteistoista luodaan myös laite- ja dokumentaatiolistaukset käyttämällä ALMA-tiedonhallintajärjestelmää, josta laitteistojen ja prosessien sisältö ja niihin liittyvä dokumentaatio on helppo löytää. Opinnäytetyö toteutetaan Oulun ammattikorkeakoululle keväällä 2021.

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä seuraaviin automaatiotekniikan kursseihin: ohjaustekniikan projekti, automaation IoT-projekti, production automation project, prosessiautomaation projekti ja control engineering. Työssä pyritään demonstroimaan ja visualisoimaan kurssien sisältöä ja niiden yhteydessä käytettäviä laitteistoja. Videomateriaalia luodaan seuraavista aiheista: PILOT-prosessi, pumppuprosessi, Festo MPS-järjestelmä, rumpuprosessi ja Valmet DNA -järjestelmä. Videoissa esitellään laitteistojen rakennetta, toimintaa ja niihin liittyviä ohjelmistoja.

Opinnäytetyön alussa keskitytään automaatiojärjestelmän ja ohjelmoitavan logiikan toimintaan ja rakenteeseen, jonka jälkeen syvennytään eri kurssien sisältöön ja laitteistoon. Kursseihin ja laitteistoon perehtymisen jälkeen niistä tehdään esittelymateriaalia, ohjeita ja toiminnallisia kuvauksia sekä videomateriaalia, jotka ladataan Moodle-alustalle käytettäväksi. Lopuksi tehdään laboratorio-laitteistojen listaukset ALMA-ohjelmistoon.

2 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Automaatio on nykyisin taustatekijänä lähes kaikissa teknisissä järjestelmissä ja laitteissa. Tämä pätee paitsi teollisuuden koneisiin ja laitteisiin myös kuluttajatuotteisiin, kuten henkilöautoihin, kodinkoneisiin sekä erilaisiin elektroniikkatuotteisiin. (1.) Luvussa keskitytään aluksi automaatiojärjestelmän toimintaan ja rakenteeseen, jonka jälkeen perehdytään ohjelmoitaviin logiikoihin ja niiden ominaisuuksiin.

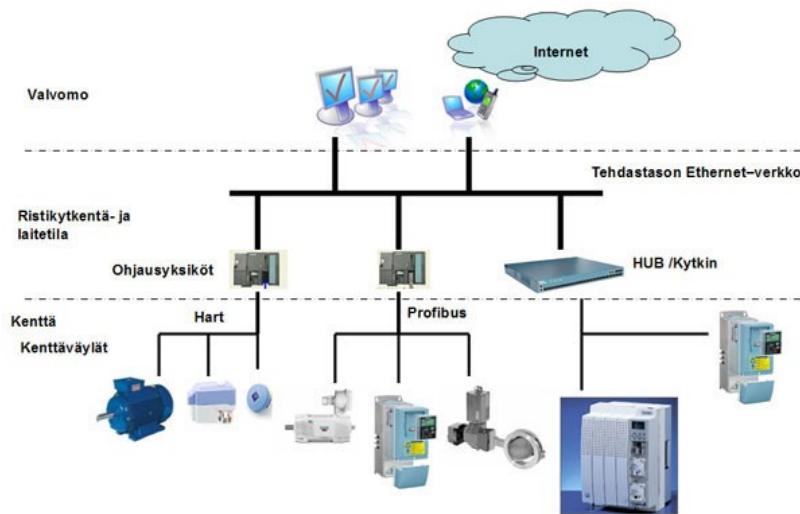
2.1 Automaatiojärjestelmän toiminta ja rakenne

Automaatiojärjestelmiä käytetään nimensä mukaan erilaisten tuotantoprosessien automatisointiin. Automaatiojärjestelmien koot voivat vaihdella yhden ohjelmoitavan logiikan prosessista koko tehtaan kattavaan kokonaisuuteen. Automaatiojärjestelmät keräävät prosesseista mittaustietoa, jonka perusteella ne laskevat tarvittavat ohjaukset ja ohjaavat eri toimilaitteita. Prosessin mittaustiedot esitetään operaattorille valvomopäätteellä, josta käyttäjät voivat tarpeen mukaan puuttua järjestelmän ohjauksiin. Nykyään automaatiojärjestelmällä on myös muita tehtäviä, kuten historiatiedon keruu, raportointi ja mittausdatan tallentaminen verkon pilvipalveluun. (2.)

Kokonaisen tehtaan tuotannollista toimintaa ohjataan automaatiojärjestelmään kytketyllä I/O- ja tietokonelaitteistolla eli valvomoasemalla. Valvomoaseman I/O-yksiköihin on kytketty tehtaalle menevät ohjausväylät, jotka on yhdistetty kentällä oleviin toimilaitteisiin, antureihin ja ohjausyksikköihin. (3.) Nykyisin käytetään useasti Ethernet-pohjaisia tiedonsiirtoratkaisuja perinteisten kenttäväyläratkaisujen sijasta. Ethernet mahdollistaa hyvin nopean tiedonsiirron, suuremman kaistanleveyden sekä muiden Ethernet-protokollien kanssa kommunikoinnin. Hyvin yleisesti automaatiossa käytetty Ethernet-pohjainen väylä on Profinet, jota myös käytetään monissa automaatiotekniikan opintojen prosesseissa.

Kuvassa 1 kuvataan yleisesti käytettyä tehdaskohtaista automaatiojärjestelmän rakennetta. Alimalla eli kenttälaitetasolla ovat yksittäiset ohjausyksiköt, lähettimet, anturit ja mittalaitteet sekä prosessia ohjaavat toimilaitteet. Seuraavalla tasolla ovat ohjainyksiköiden, säätimien ja toimilaitteiden

ohjauksia kontrolloivat logiikkayksiköt. Ylimmälle tasolle sijoittuvat muun muassa valvomotietokoneet, erilliset ohjauspäätteet ja hälytyskirjoittimet. Ylimmältä tasolta voidaan liittyä myös lähiverkoon ja Internetiin. (3.)



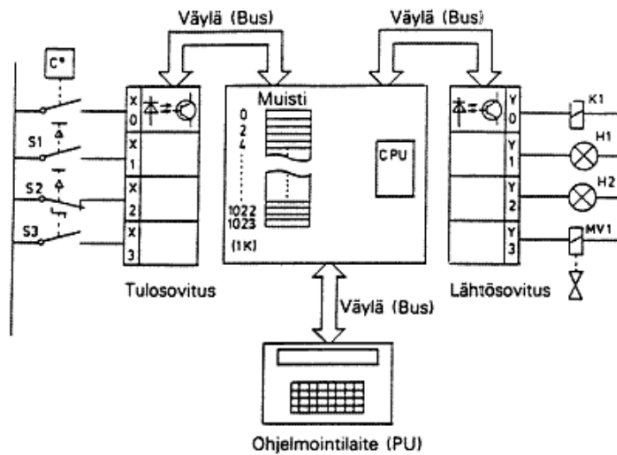
KUVA 1. Tyypillinen automaatiojärjestelmän rakenne (3)

2.2 Ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller)

Ohjelmoitavat logiikat (PLC) ovat pieniä mikroprosessorilla varustettuja tietokoneita, joita käytetään erilaisten automaatioprosessien ohjaukseen. Logiikat koostuvat pääosin kolmesta eri pääkomponentista: keskusyksiköstä (CPU), virtalähteestä (PSU) sekä tuloista ja lähdöistä (I/O). Ohjelmoitavia logiikoita on erityyppisiä ja -kokoisia, ja logiikan valinta tehdään tuotantojärjestelmän vaatimuksien mukaan. Logiikan tuloportteihin kytketään mittauslaitteita, jotka tuovat kentältä tietoa logiikalle. Mittausdatan perusteella ja logiikkaan ladatun ohjelman mukaisesti logiikka sitten ohjaa kentän toimilaitteita. Kuvassa 2 kuvataan ohjelmoitavan logiikan rakennetta.

Logiikat jaetaan perinteisesti pieniin eli kompakteihin ja laajennettaviin eli modulaarisiin logiikoihin. Kompakteissa logiikoissa on sisäänrakennettu CPU, virtalähde ja I/O-yksikkö. Nimensä mukaan kompaktit logiikat ovat pienikokoisia, joten ne sisältävät vain vähän I/O-paikkoja ja niiden laajennumahdollisuudet ovat vähäiset. Kompaktit logiikat soveltuvat täten vain pienempien järjestelmien ohjaamiseen. Opintosuunnitelman kursseilla käytetään muun muassa Omronin CP1L- ja Siemenin S7-1200-logiikoita, jotka ovat rakenteeltaan kompakteja logiikoita.

Modulaariset logiikat ovat suurempien prosessien ohjaamiseen tarkoitettuja logiikoita, joissa virtalähde, keskusyksikkö ja I/O-moduulit ovat erikseen. Tämä mahdollistaa sen, että I/O-kortteja voidaan lisätä prosessin vaatimuksien mukaisesti, kuitenkin prosessorin suorituskyvyn rajoissa.

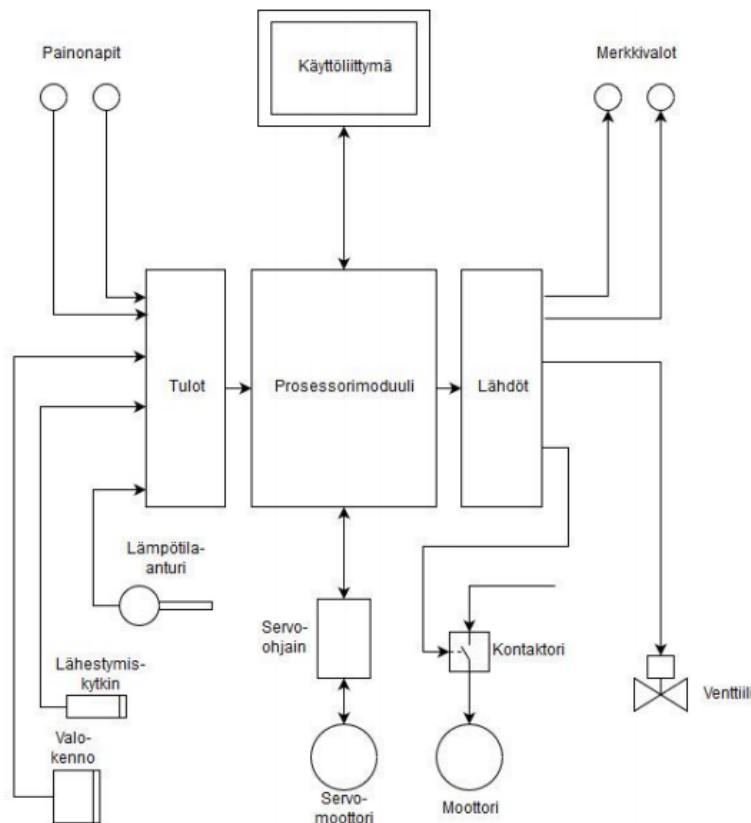


KUVA 2. Ohjelmoitavan logiikan rakennekuva (Oamk)

2.3 Logiikan tulot ja lähdöt (I/O)

Tulojen ja lähtöjen (I/O, Input/Output) avulla logiikka kommunikoi kentällä olevien laitteiden kanssa (kuva 3). Tuloportteihin kytketään yleisesti mittalaitteita, jotka tuovat logiikalle tietoa, esimerkiksi lämpötilanmittaus, rajatieto tai painemittaus. Lähtöportteihin kytketään esimerkiksi venttiileitä, moottoreita ja releitä, joita halutaan ohjata.

Tuloja ja lähtöjä on kahta eri tyyppiä: digitaalisia ja analogisia. Digitaaliset tulot ovat binäärityyppisiä päälle-pois-viestejä (0 tai 1), joita käytetään esimerkiksi painonapeissa ja kytkimissä. Digitaaliset lähdöt ovat myös binäärityyppisiä, ja niillä ohjataan esim. releitä ja magneettiventtiileitä. Analogiset tulot ovat yleisesti mittausdataa, esimerkiksi pinnan- tai lämpötilanmittaus, joka muunnetaan logiikalle ymmärrettäväksi yleensä 4–20 mA:n virtaviestiksi. Esimerkiksi lämpötilan arvo 60° C skaalalla 0–100° C olisi virtaviestinä 13.6 mA. Vastaavasti analogialähtöjen digitaalinen signaali muunnetaan analogiseksi virtaviestiksi, joka sitten lähetetään toimilaitteelle, esim. säätöventtiilille.



KUVA 3. Logiikkaohjatun järjestelmän periaatekuva (4)

2.4 Logiikkaohjelmointi

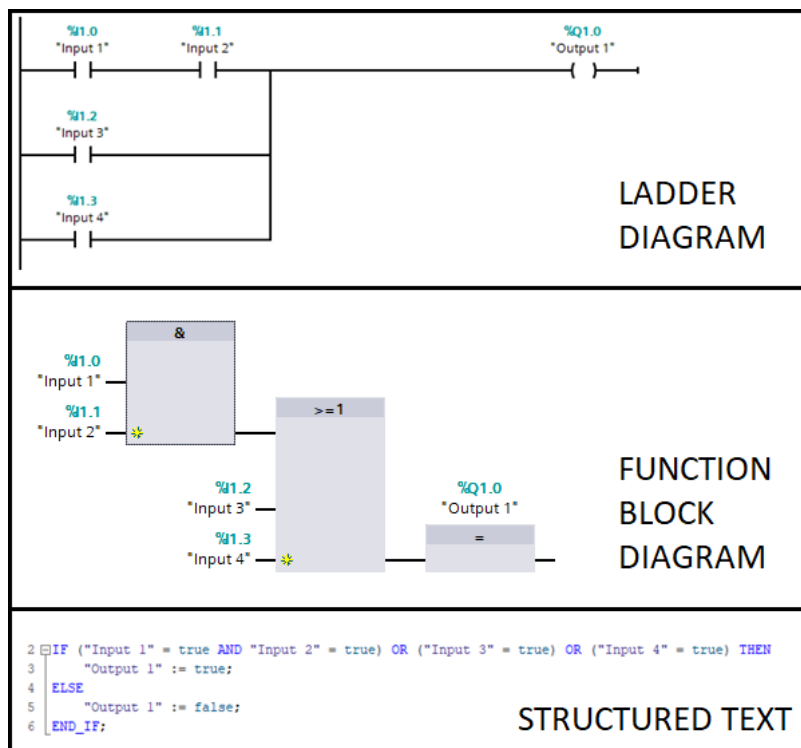
Logiikkaohjelmointi tarkoittaa logiikan toimintaa määrittävän ohjelman tekemistä. Ohjelma kirjoitetaan tietokoneella ja siirretään logikalle suoritettavaksi. Ohjelma tallentuu logiikan RAM-muistiin tai muuhun pysyvään muistiin. Logiikkaohjelmointiin käytetään monia eri ohjelmointitapoja ja eri valmistajien ohjelmistoja. Automaation alalla on erittäin laajasti omaksuttu, vuonna 1993 julkaistu, standardi IEC 61131, joka määrittelee yhteiset ohjelmointikielet logiikkaohjelmointiin (5). Standardissa on määritelty viisi eri kieltä, joista kolme on graafisia ja kaksi tekstipohjaisia. Valmistajakohdaiset ohjelmointitavat voivat erota toisistaan hieman, mutta pääpiirteittäin ne toimivat samalla periaatteella. Automaatiotekniikan opintosuunnitelman kursseissa käytetään pääosin LD (Ladder Diagram) eli tikapuukaaviota, FBD (Function Block Diagram) eli toimilohkokaaviota ja jonkin verran ST (Structured Text) eli strukturoitua tekstiä. Ohjelmistoina käytetään muun muassa Omronin CX-One kokonaisuuden CX-Programmer, Siemens TIA Portal ja Phoenix Contact PC WORX.

Eniten kursseilla käytetään LD- eli tikapuukaaviota. Tikapuukaavio on graafinen ohjelmointikieli, joka muistuttaa vanhoja releillä toteutettuja ohjausjärjestelmiä, minkä vuoksi se on monelle helposti ymmärrettävissä. Ohjelmointi tehdään ohjelmointinäkylässä vasemmalta oikealle: vasemmassa reunassa ovat tulot ja oikeassa reunassa lähdöt. Kun tulo on aktiivinen, se päästää sähköä läpi lähdölle, joka aktivoituu.

FDB eli toimilohkokaavio on graafinen ohjelmointikieli, jossa nimensä mukaan käytetään ohjelmointiin toimilohkoja. Useasti käytettyjä toimilohkoja ovat esimerkiksi JA- ja TAI-lohkot, ajastimet, lasurit, invertointilohko ja SR-kiikku (SET/RESET).

ST eli strukturoitu teksti on tekstipohjainen ohjelmointikieli, joka muistuttaa hyvin paljon C-kieltä. Opinnoissa tehdään ST-ohjelmointia käyttämällä CODESYS-ohjelmointiympäristöä, jolla toteutetaan esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmän ohjaus.

Kuvassa 4 on toteutettu sama toiminto käyttämällä tikapuukaaviota, toimilohkokaaviota sekä strukturoitua tekstiä. Output 1 menee päälle, kun sekä Input 1 että Input 2 saavat signaalin, tai kun joko Input 3 tai Input 4 saavat signaalin. Esimerkkikuva ovat tehty käyttämällä Siemens TIA Portal -ohjelmointiympäristöä.



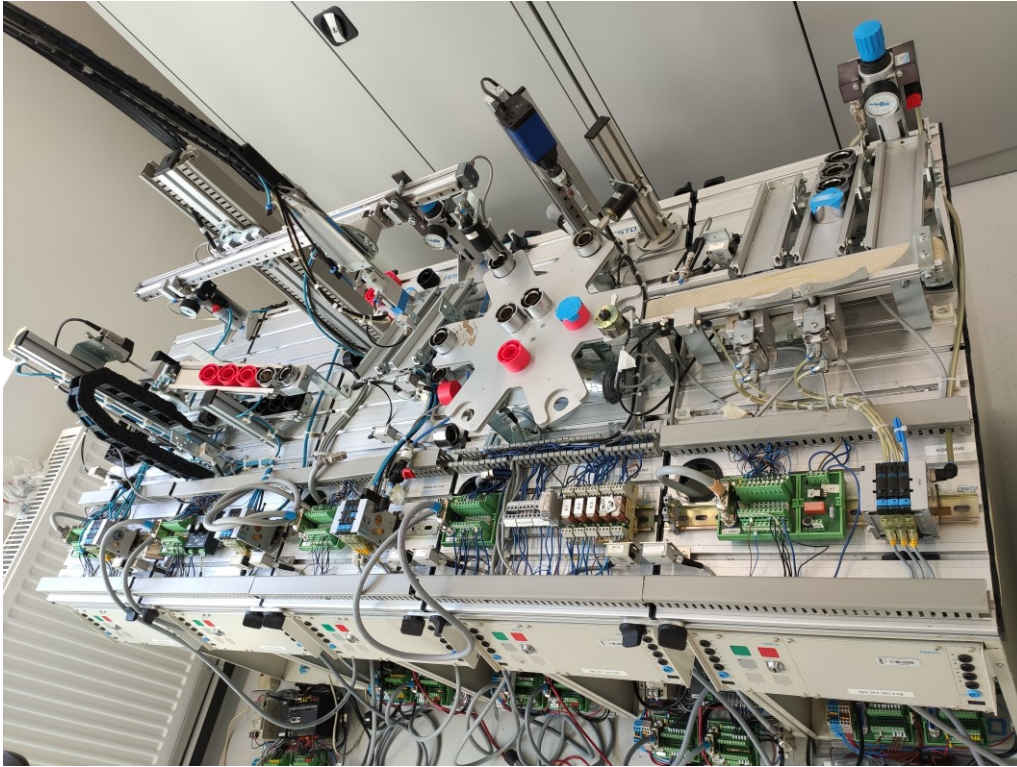
KUVA 4. Sama toiminto toteutettu eri ohjelmointikielillä Siemens TIA Portal-ympäristössä

3 OHJAUSTEKNIIKAN PROJEKTI

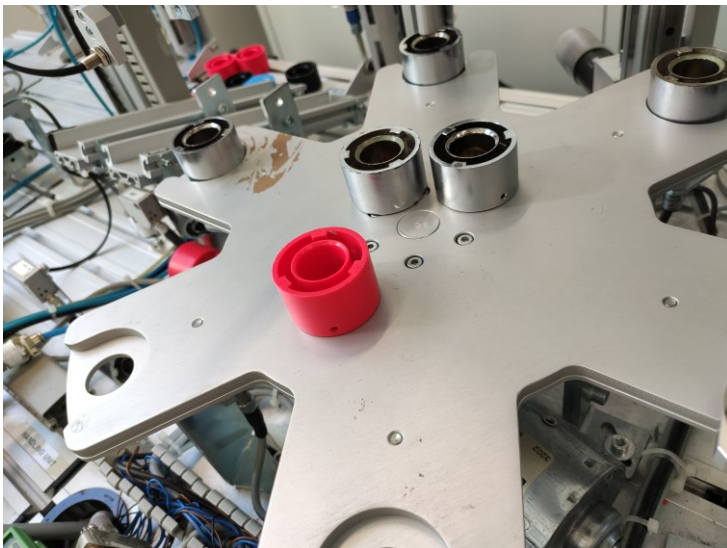
Ohjaustekniikan projekti on ensimmäinen projektikurssi sähkö- ja automaatiotekniikan opintosuunitelmassa. Työssä tutustutaan automaatiolaboratorion Festo MPS (Modular Production System) laitteistoon ja perehdytään tarkemmin yhden tietyn tuotantoyksikön toimintaan ja ohjaukseen. Työn aikana opiskelijat toteuttavat projektiohjeen yhdestä laitteiston tuotantoyksiköstä, luovat asemalle logiikkasovelluksen ja toteuttavat MPS-laitteistoon logiikkaliitännät käyttämällä Omronin CP1L-logiikkaa. Kurssilla opiskellaan projektitaitojen ohella myös yleisiä työelämätaitoja, kuten ryhmätyöskentely- sekä esiintymistaitoja.

3.1 Festo MPS-laitteisto

Festo MPS-laitteisto (kuva 5) on modulaarinen tuotantojärjestelmä, joka on tarkoitettu opiskelu- ja harjoituskäyttöön. Tuotantojärjestelmän tarkoitus on kuljettaa ja prosessoida kappaleita (kuva 6) sekä lajitella ne kappaleiden ominaisuuksien mukaan. Kappaleita on kolmea erilaista: punainen, musta ja kirkas. Festo MPS-laitteisto koostuu viidestä eri tuotantoyksiköstä eli osaprosessista: jakeluasema, testausasema, käsittelyasema, prosessointiasema ja lajitteluasema. Eri osaprosesseja voidaan käyttää yksinään ja niiden paikkoja voidaan vaihtaa, ja toisiinsa kytkettynä ne muodostavat kokonaisen tuotantojärjestelmän. Järjestelmä sisältää paljon automaation eri osa-alueita, muun muassa sähkötekniikkaa, antureita, ohjelmoitavia logiikoita, pneumatiikkaa ja kuljettimia. Järjestelmä vaatii toimiakseen 4–6 baarin käyttöpainailman ja erilliset 24 VDC virtalähteet joka osaprosessille. Eri tuotantoyksikköjen toiminta on kuvattu lyhyesti taulukossa 1.



KUVA 5. Festo MPS-laitteisto



KUVA 6. Järjestelmässä käytettävät työkappaleet prosessointiaseman päällä

TAULUKKO 1. Festo MPS-laitteiston tuotantoyksiköiden toiminta

Tuotantoyksikön nimi	Tuotantoyksikön toiminta
Jakeluasema	Jakeluaseman tehtävä on siirtää työkappaleet varastomakasiinista seuraavaan yksikköön imukuppitarttujan avulla.
Testausasema	Testausasemassa tutkitaan käsiteltävän työkappaleen ominaisuuksia. Kappaleen väri ja ominaisuudet tunnistetaan antureiden avulla. Jos kappale läpäisee tarkistuksen, se siirretään sylinterillä seuraavan tuotantoyksikön käytettäväksi. Jos kappale hylätään, se siirretään hylkäysliukuun.
Käsittelyasema	Käsittelyaseman tehtävä on siirtää testausasemassa hyväksytyt työkappaleet prosessointiasemalle tai lajitella kappaleet kahteen eri liukuun niiden ominaisuuksien perusteella.
Prosessointiasema	Prosessointiaseman tehtävä on työkappaleiden tarkistus ja työstö. Kun anturi tunnistaa uuden työkappaleen, pyörähtää paletti kuudennesa kierroksen, ja kappale saapuu mittausmoduulille. Mittausmoduuli tarkistaa, onko kappale asetettu reikä ylöspäin. Tämän jälkeen paletti pyörähtää uudelleen, ja seuraavaksi kappaletta työstetään poralla. Työstön jälkeen paletti pyörähtää taas, jolloin kappale päättyy laitteiston viimeiselle tuotantoyksikölle.
Lajitteluasema	Lajitteluasema lajittelee käsitellyt kappaleet kolmeen eri liukuun niiden ominaisuuksien perusteella. Kappaleet kulkevat yksikössä hinnan päällä ja siirretään oikeisiin kouruihin käyttämällä antureita ja pneumaattisia toppareita.

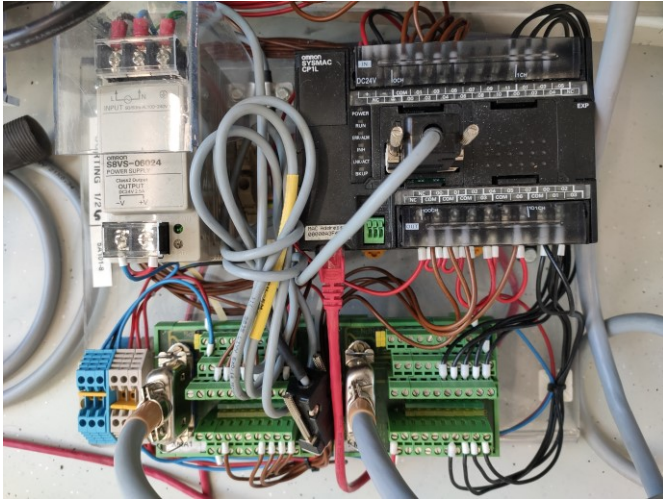
3.2 Omron CP1L-logiikka

Omron CP1L (kuva 7) on logiikkasarja, jossa yhdistyvät kompaktien logiikoiden pieni koko ja modulaarisen logiikan ominaisuudet. Logiikkasarja on suunniteltu pienikokoisten järjestelmien ja laitteiden ohjaamiseen. CP1L-logiikoihin on saatavana ominaisuuksiltaan erilaisia prosessoreita, jotka poikkeavat toisistaan ohjelma- ja datamuistimäärän, I/O-lukumäärän sekä kommunikointiyhteyksien suhteen. Logiikkasarjaan on myös saatavilla I/O-laajennusyksiköitä. (6.)



KUVA 7. Omron CP1L-logiikka

Kuvassa 8 on nähtävissä valmis Omron CP1L-logiikkakokoonpano, joka voidaan kytkeä tiedonsiirtokaapeleilla MPS-laitteiston tuotantoyksikköön. Samankaltaisia logiikkakokoonpanoja käytetään ammattikorkeakoulun automaatiolaboratoriossa logiikkaohjelmoinnin opinnoissa useita, joten jokaiselle kokoonpanolle on annettu yksilöllinen nimitys. Työssä käytetty kokoonpano on nimetty Automaatiolab.1/10:ksi. Kokoonpano on rakennettu akryylilevystä muokatulle alustalle, johon Omron CP1L-logiikka, Omron S8VS-06024 -teholähde, I/O-terminaalit ja riviliittimet ovat kiinnitetty DIN-kiskon avulla. (7.)



KUVA 8. Festo MPS-laitteistoon yhdistettävä automaatiolab.1/10-logiikkakokoonpano

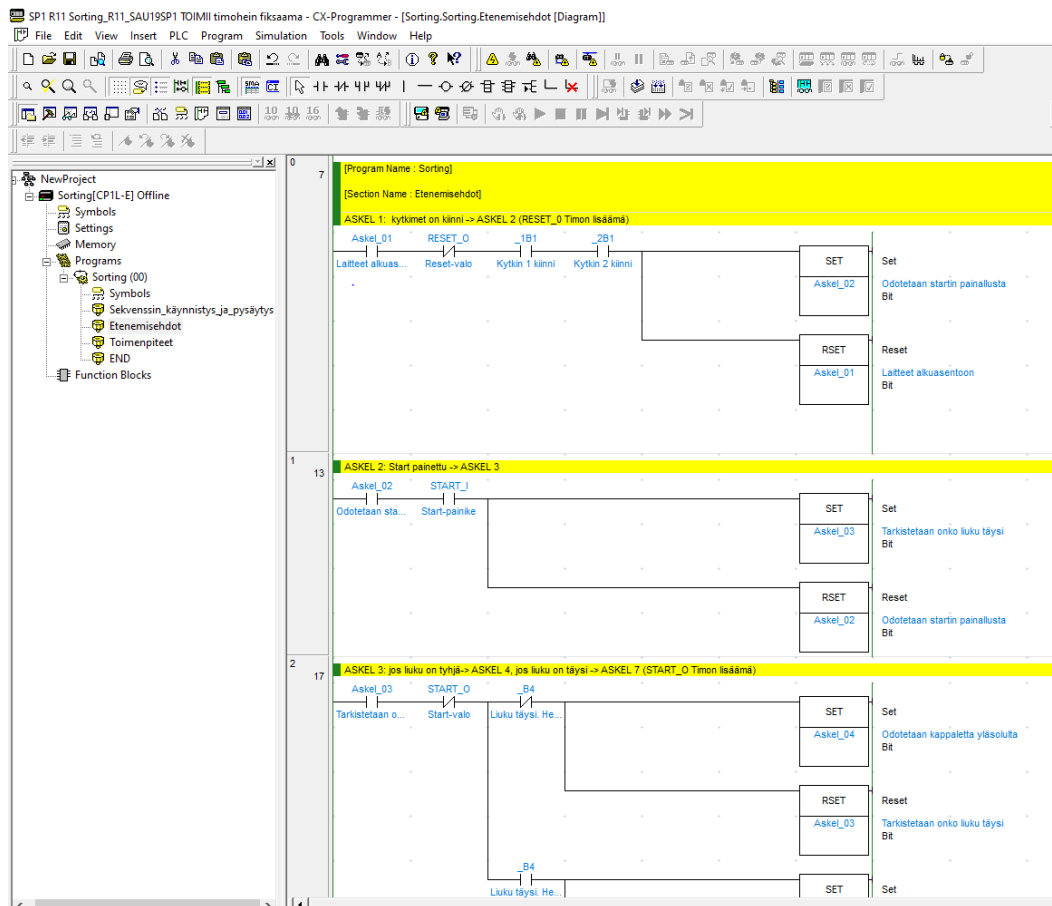
3.3 Omron CX-One ja CX-Programmer

CX-One on Omronin ohjelmistopaketti, jonka avulla voidaan määrittää ja ohjelmoida useita eri laitteita, kuten logiikoita, käyttöpäätteitä, antureita, taajuusmuuttajia tai verkkoja. CX-One pakettiin kuuluvat seuraavat ohjelmistot:

- CX-Programmer
- CX-Simulator
- CX-Designer
- CX-Integrator
- CX-Configurator
- CX-Protocol
- CX-Drive.

Kurssiosuuden ohjelmoinnissa käytetään Omronin CX-One kokonaisuuden CX-Programmeria. Kuvassa 9 on ohjelmiston ohjelmointinäkymä. CX-Programmer-ohjelmoinnissa sovellusohjelmaa luodaan yleensä tikapuukaavio- eli ladder-muodossa. Relekaaviomuotoista ohjelmaa voidaan tehdä tai tarkastella myös käskylistamuodossa. Nykyisin voidaan myös soveltaa toimilohkoja. Näitä voidaan ohjelmoida relekaavion lisäksi strukturoitu teksti -muodossa. Ohjelman ohjelmointimuodoksi voidaan valita relekaavion sijasta myös strukturoitu teksti (ST) tai sekvenssivuokaavio (SFC). (8.)

Ohjelmointia varten täytyy ensin tehdä symbolitaulukko, johon listataan sovelluksessa käytettävät tulot ja lähdöt. Symbolilista löytyy CX-Programmerin ohjelmointinäköymän vasemmasta reunasta ”Symbols”-kohdasta. Symboleille tulee määrittää nimi, osoite, tietotyyppi, käyttö ja kommentti. Laajiteluaseman symbolitaulukko on nähtävissä kuvassa 10. Symbolitaulukon tekemisen jälkeen voidaan lisättyjä tuloja ja lähtöjä käyttää ohjelmoimisessa.



KUVA 9. CX-Programmer-ohjelmointinäköymä

SP1 R11 Sorting_R11_SAU19SP1 TOIMil timohein fiksaama - CX-Programmer - [Sorting.Sorting [Symbols]]

File Edit View Insert PLC Program Simulation Tools Window Help

10 100 16

Name	Data Type	Address / Value	Rack Locati...	Usage	Comment
* _PART_AV	BOOL	0.00		In	Kappale saatavilla, optinen sensori
* _B2	BOOL	0.01		In	Metallisen kappaleen sensori
* _B3	BOOL	0.02		In	Kappale ei musta, sensori
* _B4	BOOL	0.03		In	Liuku täysi. Hetkellisesti päällä, ku...
* _IB1	BOOL	0.04		In	Kytin 1 kiinni
* _IB2	BOOL	0.05		In	Kytin 1 avattu
* _IB1	BOOL	0.06		In	Kytin 2 kiinni
* _IB2	BOOL	0.07		In	Kytin 2 avattu
* START_I	BOOL	1.00		In	Start-painike
* STOP	BOOL	1.01		In	NC. Avautuva kosketin
* RESET_I	BOOL	1.03		In	Reset-painike
* Askel_01	BOOL	16.00		Work	Laitteet alkuasentoon
* Askel_02	BOOL	16.01		Work	Odotetaan startin painallusta
* Askel_03	BOOL	16.02		Work	Tarkistetaan onko liuku täysi
* Askel_04	BOOL	16.03		Work	Odotetaan kappaleetta ylasolulta
* Askel_05	BOOL	16.04		Work	Liukuhinnan moottorin käynnistys
* Askel_06	BOOL	16.05		Work	Kappaleen tunnistus
* Askel_07	BOOL	16.06		Work	Odotetaan liu'un tyhjentymistä
* Askel_08	BOOL	16.07		Work	Häiriö/Liuku edelleen täysi
* Askel_09	BOOL	16.08		Work	Häiriö hoidettu ja kuitattu, paluu ...
* Askel_10	BOOL	16.09		Work	Lajittelu
* Askel_11	BOOL	16.10		Work	Musta kappale
* Askel_12	BOOL	16.11		Work	Metallinen kappale
* Askel_13	BOOL	16.12		Work	Punainen kappale
* Askel_14	BOOL	16.13		Work	Odotellaan laitteisto alkuasentoo...
* _K1	BOOL	100.00		Out	Moottorin ohjaus
* _Y1	BOOL	100.01		Out	Kytikimen 1 avaus
* _Y2	BOOL	100.02		Out	Kytikimen 2 avaus
* _Y3	BOOL	100.03		Out	Stopperi
* _IP_N_FO	BOOL	100.07		Out	Solu varattu, optinen lähtin
* START_O	BOOL	101.00		Out	Start-valo
* RESET_O	BOOL	101.01		Out	Reset-valo
* Q1_LIUKU_TÄYSI	BOOL	101.02		Out	Paneelin ilmoitusvalo
* First_Cycle_Bit	BOOL	A200.11		Work	Käynnistää reset valon ensimmäis...
* TIMO_0	BOOL	T0000		Work	Ajastin: liukuhinnan käynnistys
* TIMO_1	BOOL	T0001		Work	Ajastin: kappaleen tunnistus
* TIMO_2	BOOL	T0002		Work	Ajastin: odotetaan liu'un tyhjeny...
* TIMO_3	BOOL	T0003		Work	Ajastin: estää mustan kappaleen k...

KUVA 10. Jakeluaseman symbolilista

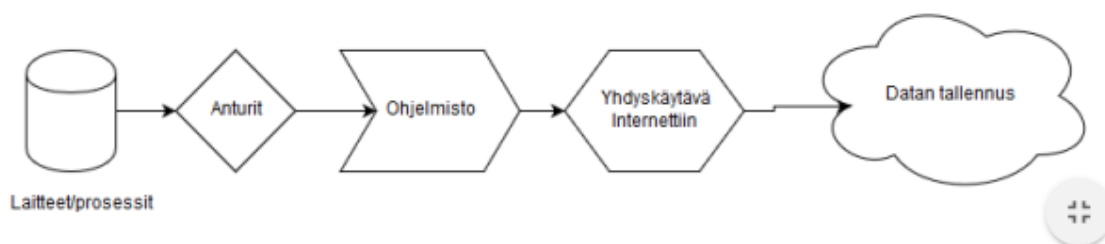
4 AUTOMAATION IOT-PROJEKTI

Automaation IoT-projektissa (Internet of Things) tutustutaan IoT-käsitteeseen ja tehdään siihen liittyviä harjoituksia. Kurssilla toteutetaan harjoituskytkentöjä, joiden mittausdataa voidaan tallentaa paikallisesti tai pilvipalveluun. Datan tallentamiseen, käsittelyyn ja visualisointiin käytetään MindSphere- ja ThingSpeak-alustoja.

4.1 IoT- ja IIoT-käsitteet

Esineiden internetillä (IoT) tarkoitetaan järjestelmiä, joiden anturien ja laitteiden toimintadataa voidaan tallentaa internetin pilvipalveluun. Järjestelmiä voidaan myös seurata ja etäohjata internetin välityksellä. Järjestelmistä kerättyä dataa voidaan jälkeinpäin hyödyntää monella eri tavalla, esimerkiksi analysoimalla ja optimoimalla laitteiston toimintaa.

Teollisella internetillä (IIoT) tarkoitetaan samaa periaatetta kuin esineiden internetillä, mutta suuremmalla skaalalla. Lähtökohtaisesti esineiden internetin kuvitellaan palvelevan kuluttajan tarpeita, ja teollinen internet taas kattaa koko yrityksen tarpeet. Teollinen internet on yritysten sisäinen älykkäiden laitteiden ja sensoreiden muodostama verkko, jossa internetrajapinnan avulla voidaan analysoida dataa ja ennakoida sen perusteella. (9.) Kuvassa 11 kuvastetaan teollisen internetin tiedonsiirtoa kentältä pilvipalveluun.



KUVA. 11 Teollisen internetin tiedonsiirto (9)

4.2 ThingSpeak

ThingSpeak on IoT-tyyppinen pilvialusta, jossa dataa voi tallentaa ja hakea. Tallennettua dataa voi käsitellä, analysoida ja visualisoida. ThingSpeak-pilvialustan perusajatus on helppokäyttöinen käyttöliittymä, jossa on kuitenkin kokonaisen IoT-ratkaisun ominaisuudet. Analysoitua dataa voi helposti jakaa muiden käyttäjien kesken kanavilla. Kanavan voi määrittää myös yksityiseksi, jolloin kanavan sisältö ei näy muille käyttäjille. Pilvialustan datan käsittely ja visualisointi perustuvat MathWorksin MATLAB-ohjelmistoon. (10.)

Kanavien avulla pystytään analysoimaan ja visualisoimaan mitattua dataa. ThingSpeakin verkkosivuilla pystyy näkemään ihmisten tekemiä julkisia kanavia (kuva 12). Kanavien visualisointiin voidaan käyttää erilaisia tapoja, esimerkiksi kaavioita, mittareita, prosenttiosuuksia tai käyttäjien itsensä luomia ratkaisuja.

Weather Station

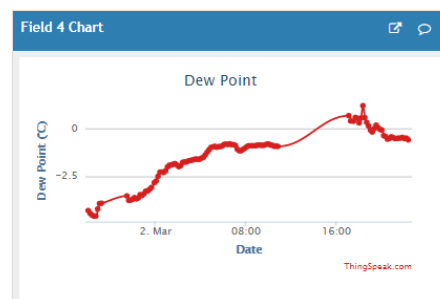
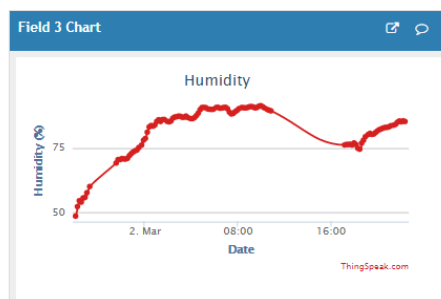
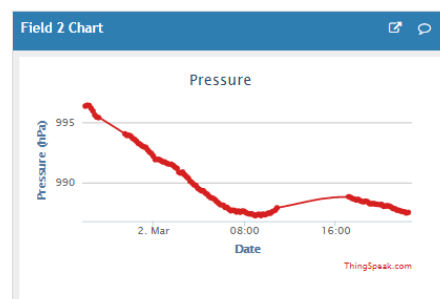
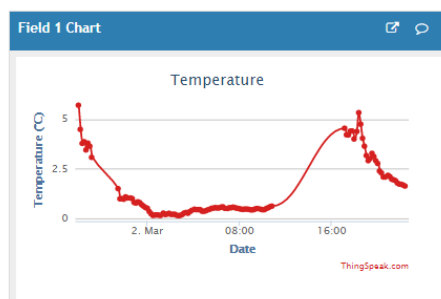
Channel ID: 201543
Author: squarewave
Access: Public

BME280 with Raspberry Pi
bosch, bme280, raspberry pi, pi, python

☒ Export recent data

MATLAB Analysis

MATLAB Visualization



KUVA 12. Julkinen kanava ThingSpeak-alustalla (11)

4.3 MindSphere

MindSphere on Siemensin avoin pilvipohjainen IoT-alusta, joka yhdistää fyysiset laitteet digitaaliseen maailmaan (kuva 13). MindSphere tarjoaa kustannustehokkaan ja skaalautuvan pilvipohjaisen Platform as a Service -palvelun (PaaS), joka on täydellinen uusien sovellusten kehittämiseen. MindSphere tarjoaa saumattoman yhteyden Siemensin ja kolmansien osapuolien tarjoamiin palveluihin. Alustalle voidaan myös luoda omia sovelluksia ja palveluja. (12.)

Kurssilla perehdytään MindSpheren ominaisuuksiin, käyttöön ja sen palveluihin eli MindAppeihin. Tutkittava data saadaan logiikkasovelluksesta, joka luodaan Siemensin logiikalle. Logiikasta kerättyä dataa, eli muun muassa toiminta- ja käyntitietoja, tutkitaan ja käsitellään jälkeenpäin käyttämällä eri MindAppeja.

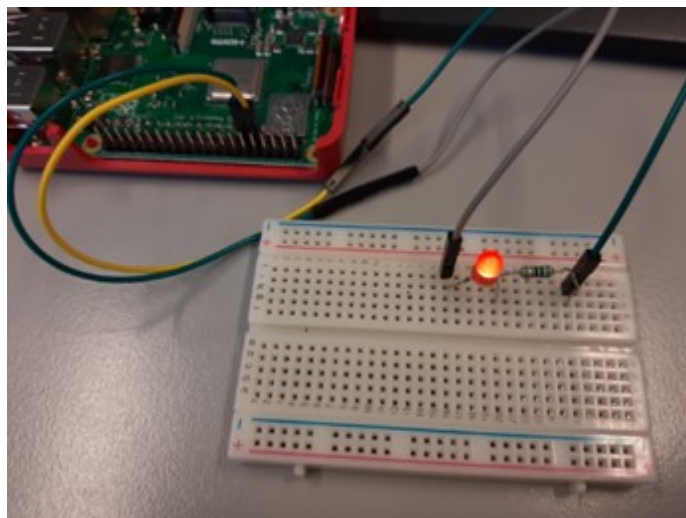


KUVA 13. Siemens MindSphere (12)

4.4 Raspberry Pi

Raspberry Pi on yhden piirilevyn opetus- ja harjoituskäyttöön suunniteltu tietokone, joka pyörittää Linux-käyttöjärjestelmää. Kurssilla tehdään kytkentöjä käyttämällä liitântälevyjä ja eri komponentteja, jotka yhdistetään Raspberry Pi:n GPIO-pinneihin (General Purpose Input/Output). Kytkenöissä käytetään muun muassa antureita ja releitä, joiden toimintadata viedään pilvipalveluun tutkittavaksi. Ohjelmointi tehdään pääosin käyttämällä python-kieltä.

Kuvassa 14 on kurssilla toteutettu yksinkertainen kytkentä käyttäen LED-lamppua ja sen ohjelma, joka vilkuttaa lamppua käyttäjän syöttämän luvun perusteella. Kytkenässä käytetään neljää hypylankaa, yhtä vastusta, kytkentäalustaa ja punaista LED-lamppua. Lampun tilatieto viedään pilvialustalle, ja sieltä pystyy näkemään, milloin lamppu on ollut päällä ja milloin pois päältä.



LED vilkkumaan:

```
import time
import RPi.GPIO as GPIO

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
GPIO.setup(11,GPIO.OUT)

lkm=input("Montako valkytystä? ")

for x in range(0,lkm):
    GPIO.output(11,1)
    time.sleep(1)
    GPIO.output(11,0)
    time.sleep(1)

GPIO.cleanup()
```

KUVA 14. Esimerkkikytkentä Raspberry Pi -tietokoneelle ja sen python-ohjelma

5 PRODUCTION AUTOMATION PROJECT

Production Automation Project eli suomeksi tuotantoautomaation projekti -kurssilla tutustutaan eri tuotantoautomaation osa-alueisiin. Kurssin sisältö jaetaan eri kurssiosuuksiin. Rumpuprojektissa toteutetaan rummun ohjaus ja turvalogiikan sekä valoverhon konfigurointi. TIA Portal -projektiosuudessa toteutetaan pieni automaatiosovellus käyttäen Siemensin TIA Portalia sekä S7-1200-logiikkaa. PILOT-prosessin osiossa tutustutaan prosessin toimintaan ja sen hallintaan käyttämällä Siemensin PCS7-järjestelmää.

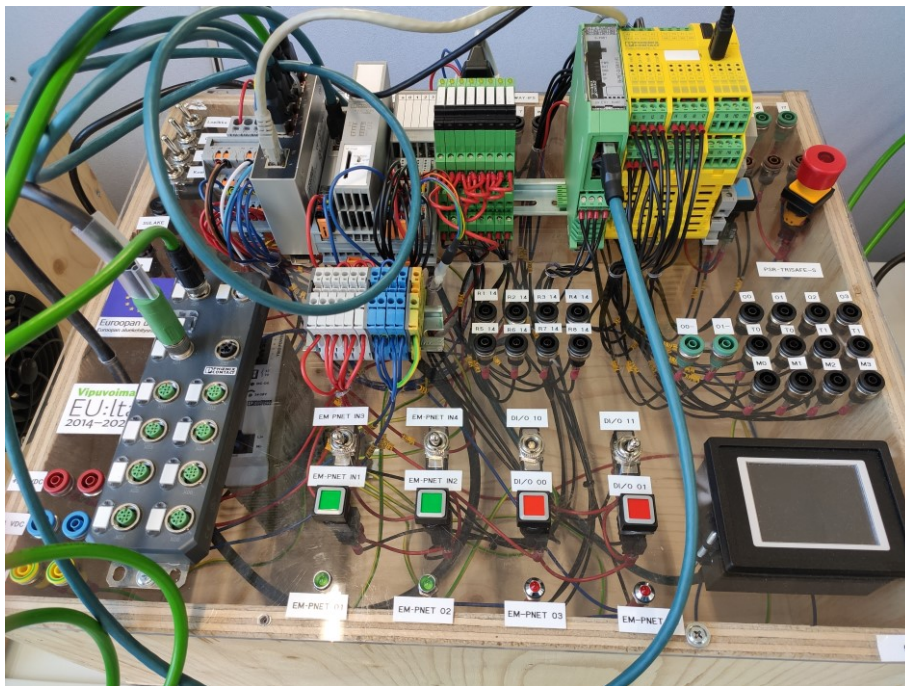
5.1 Rumpuprojekti

Rumpuprosessi on harjoituslaitteisto (kuva 15), jonka avulla harjoitellaan logiikkaohjelmointia, turvalogiikan konfigurointia ja valoverhon sekä taajuusmuuttajan käyttöä. Rumpuprosessin yhteydessä käytetään kokoonpanolaatikkaa, jolla toteutetaan rummun ohjaus (kuva 16). Laatikko sisältää muun muassa Phoenix Contactin kontrollerin ja turvalogiikan, painonappeja, kosketusnäytön ja hätäseis-painikkeen. Työn tarkoitus on laatia rumpuprosessille, valoverholle sekä turvalogiikalle ohjelma, yhdistää kokoonpanolaatikko rumpuprosessiin ja tehdä sen toiminnan testaus.



KUVA 15. Rumpuprosessi, valoverho ja taajuusmuuttaja

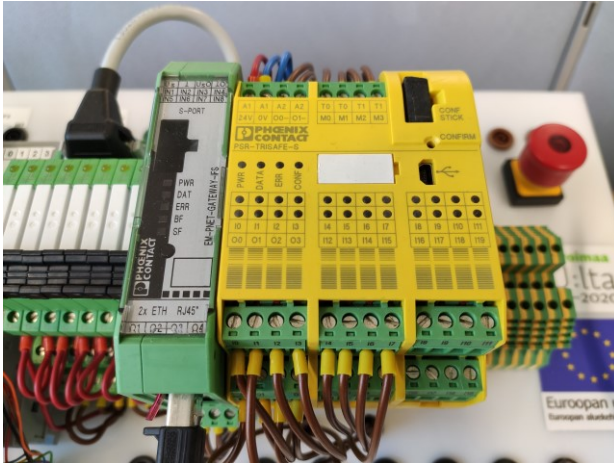
Moottoria ja sen pyörimisnopeutta ohjataan siihen kytketyllä taajuusmuuttajalla. Pyöriessään rumpu kuljettaa sisällä olevaa kappaletta, joka liikkuu alkupään anturilta toisessa päädyssä olevalle anturille. Kun kappale saavuttaa toisen päädyn anturin, tulee moottorin pysähtyä. Moottori ei saa käynnistymislupaa, mikäli kappale ei ole ensimmäisellä anturilla lähtötilanteessa. Turvalogiikalla ohjataan hätäseis-painiketta sekä rumpuprosessin ympärillä olevaa valoverhoa, joka estää henkilöitä koskemasta käynnissä olevaa prosessia. Rumpuprosessista luodaan opinnäytetyötä varten esittelyvideo, jossa kerrotaan prosessin toiminnasta, laitteistosta ja ohjelmoinnista.



KUVA 16. Kokoonpanolaatikko

5.1.1 Turvalogiikka

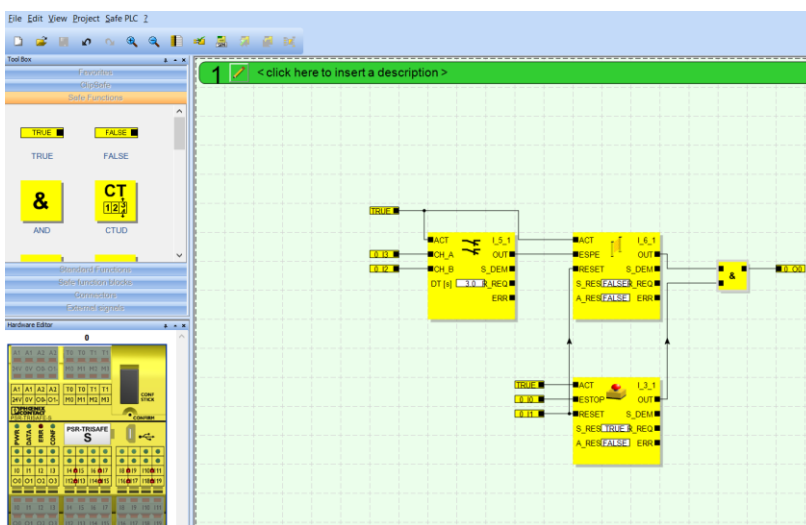
Turvalogiikan tarkoitus on suojata henkilövahingoilta sekä välttää mahdollisia vaaratilanteita vika-tilan sattuessa pysäyttämällä laitteisto välittömästi. Turvalogiikka ohjaa rumpuprosessissa valoverhon ja hätäseis-painikkeen toimintaa. Turvalaitteet ovat vikaturvallisia: niiden hajotessa prosessi myös pysäytetään. Turvalogiikka toimii itsenäisesti ja sille luodaan oma ohjelma. Logiikkakokoonpanossa on käytössä Phoenix Contact PSR-TRISAFE-S-turvalogiikka, joka sisältää 20 turvatuloa ja 4 turvalähtöä (kuva 17).



KUVA 17. Phoenix Contact PSR-TRISAFE-S-turvalogiikka

5.1.2 SAFECONF

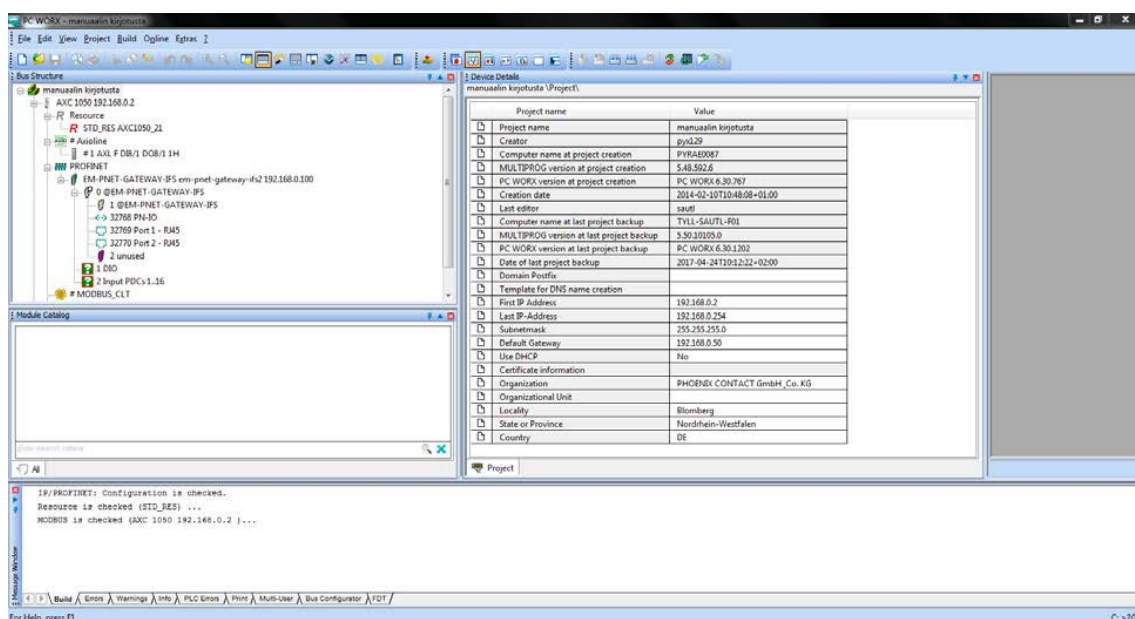
Turvalogiikan ohjelmointi tehdään käyttämällä Phoenix Contactin SAFECONF-ohjelmistoa. Ohjelma luodaan käyttämällä toimilohkokaaviota. Kuvassa 18 näkyy SAFECONF-ohjelmointinäkymä, jossa on luotu esimerkkiohjelma, joka ohjaa valoverhon ja hätäseis-painikkeen toimintaa. Vasemmassa yläreunassa on saatavilla "Safe Functions" -toimilohkot, joilla ohjelmointi tehdään. Vasemmassa alareunassa näkyy käytettävä turvalogiikka, jossa on käytettävissä olevat tulot ja lähdöt. Toimilohkot ja logiikan tulot ja lähdöt pystytään vetämään ohjelmointitilaan drag and drop -tyylisesti.



KUVA 18. SAFECONF-esimerkkiohjelma

5.1.3 PC WORX

PC WORX (kuva 19) on kaikkien Phoenix Contactin kontrollerien ohjelmointiin tarkoitettu ohjelmisto, jossa yhdistyy ohjelmointi, kenttäväyläkonfigurointi ja laitteistodiagnostiikka. Ohjelmistoa käytetään rumpuprosessin toiminnan toteuttamiseen, ja sen avulla yhdistetään kokoonpanolaatikon osien toiminta. Ohjelmistossa luodaan uusi projekti, johon lisätään käytettävän kontrollerin IP-osoite ja Profinet-yhteys, lisätään I/O-moduuli, Gateway-yksikkö sekä rummun induktiivisten antureiden I/O-liitinalusta.



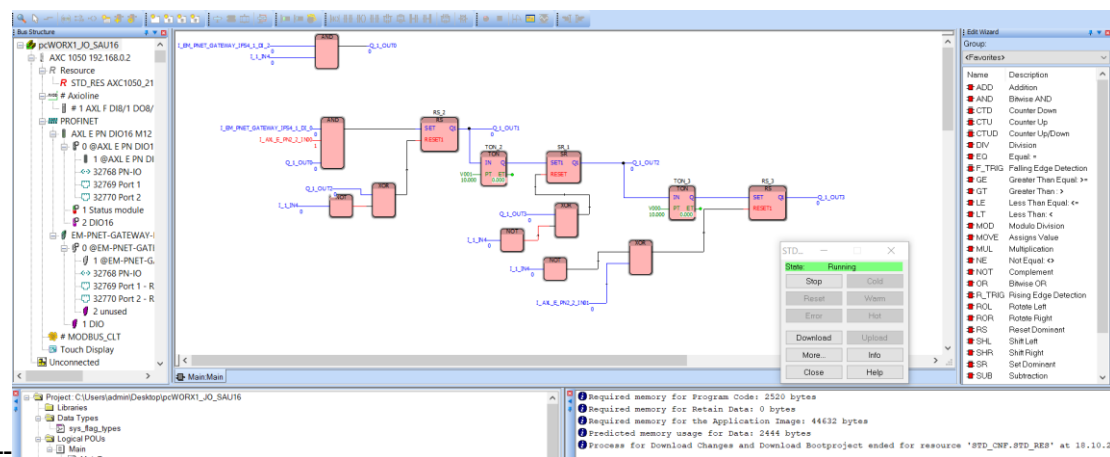
KUVA 19. PC WORX -ohjelmisto, jossa näkyvillä bus structure-, device details- ja module catalog-ikkunat

Ohjelmisto tukee kaikkia IEC 61131-3-standardin mukaisia ohjelmointikieliä: muun muassa tika-puu- ja toimilohkokaaviota, strukturoitua tekstiä, käskylistää ja sekvenssimuotoista ohjelmointia. Tässä tapauksessa käytetään toimilohkokaaviota. Ennen ohjelmointia tulee määrittellä käytettävät tulot ja lähdöt, joiden perusteella sovellus ja kytkennät tehdään. Tulojen ja lähtöjen määrittely tehdään ohjelmiston I/O-listaan, johon tulee lisätä tulojen ja lähtöjen nimi, tietotyyppi, käyttö ja osoite. Kuvassa 20 näkyvät työssä käytetyt I/O:t. Ajastimille on lisätty alkuarvo "T#10s", joka tarkoittaa kymmenen sekunnin viivettä.

Name	Type	Usage	Description	Address	Init	Retain	P.	O.	TB	Hi.	Ini.	Default	Hidd.	R.	Conn
Default															
I_EM_PNET_GATEWAY_IFS4_1_DI_0	BOOL	VAR_EXTERNAL													
I_1_IN0	BOOL	VAR_EXTERNAL													
Q_EM_PNET_GATEWAY_IFS4_1_DO_0	BOOL	VAR_EXTERNAL													
Q_1_OUT0	BOOL	VAR_EXTERNAL													
I_AXL_E_PN2_2_IN00	BOOL	VAR_EXTERNAL													
V000	TIME	VAR													
I_EM_PNET_GATEWAY_IFS4_1_DI_1	BOOL	VAR_EXTERNAL													
I_EM_PNET_GATEWAY_IFS4_1_DI_2	BOOL	VAR_EXTERNAL													
Q_EM_PNET_GATEWAY_IFS4_1_DO_1	BOOL	VAR_EXTERNAL													
Q_EM_PNET_GATEWAY_IFS4_1_DO_2	BOOL	VAR_EXTERNAL													
RS_1	RS	VAR													
I_1_IN4	BOOL	VAR_EXTERNAL													
TON_2	TON	VAR													
V001	TIME	VAR													
RS_2	RS	VAR													
I_1_IN2	BOOL	VAR_EXTERNAL													
I_1_IN1	BOOL	VAR_EXTERNAL													
Q_1_OUT1	BOOL	VAR_EXTERNAL													
Q_1_OUT2	BOOL	VAR_EXTERNAL													
SR_1	SR	VAR													
Q_1_OUT3	BOOL	VAR_EXTERNAL													
TON_3	TON	VAR													
RS_3	RS	VAR													
Q_AXL_E_PN2_2_OUT00	BOOL	VAR_EXTERNAL													
I_AXL_E_PN2_2_IN01	BOOL	VAR_EXTERNAL													

KUVA 20. Työssä käytetty I/O-lista

Kuvassa 21 on PC WORX:lla tehty sovellus rumpuprosessin toiminnasta, joka perustuu ajastimien käyttöön. Moottori laitetaan ensin pyörimään miniminopeudella, ja pyörimisnopeutta kasvatetaan kymmenen sekunnin välein, kunnes rummun sisällä oleva kappale saavuttaa loppupään anturin. Prosessia ei voi käynnistää, jos kappale ei ole ensimmäisellä anturilla alkutilanteessa.



KUVA 21. PC WORX-sovellus

5.2 Siemens TIA Portal -projektityö

Kurssilla toteutetaan pienehkö automaatiosovellus käyttämällä Siemensin TIA Portalia (Totally Integrated Automation). Kurssi tehdään projektityönä ja opiskelijaryhmät toimivat prosessien tilaajina ja toimittajina. Ryhmän ensimmäinen tehtävä on laatia pienimuotoinen prosessi, josta tehdään lähtömateriaalidokumentti, joka sisältää muun muassa prosessin toiminnallisen kuvauksen, I/O-lisäaukset ja PI-kaavion. Lähtömateriaalit vaihdetaan toimittajien ja tilaajien kesken, ja niistä aletaan luomaan sovellusta. Projektin lopussa laaditaan FAT- eli testauspöytäkirja (Factory Acceptance Test) ja tehdään sovelluksen testaus pöytäkirjan mukaisesti. Logiikkana käytetään Siemensin S7-1200-logiikkaa (kuva 22).



KUVA 22. Siemens S7-1200 -logiikka

Siemens TIA Portal ohjelmointiympäristöön kuuluvat seuraavat Siemensin automaatio-ohjelmistot:

- SIMATIC STEP 7
- SIMATIC WinCC
- SINAMIC Startdrive
- SIMOCODED ES
- SIMOTION SCOUT TIA.

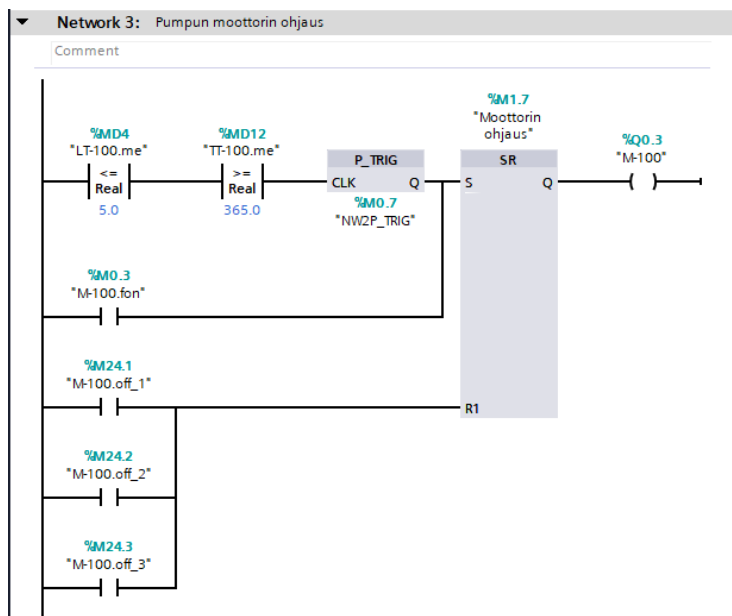
Kurssiosuudessa käytetään TIA Portalia logiikkaohjelmointiin. Ohjelmointi voidaan toteuttaa joko tikapuu- tai toimilohkokaaviolla. TIA Portalissa on myös mahdollista tehdä ohjelmointia tekstipohjaisesti (ST), mutta sitä kuitenkaan ei kurssilla käytetä. Logiikkaohjelma tehdään lähtöaineiston mukaisesti ja sen tulee sisältää mainitut vaatimukset ja toiminnot. Kurssin lopussa toteutetaan ohjelman esittely ja testaus.

TIA Portalissa määritellään käytettävät tulot ja lähdöt Tags-sivulle, johon listataan I/O:n positiotunnus, tietotyyppi, osoite ja kommentti. Eri tietotyyppien on ohjelmistossa erittäin paljon, ja eniten käytettyjä ovat esimerkiksi Bool eli 1 tai 0, Int eli kokonaisluku, Real eli reaalityyppinen luku ja Byte eli tavu. Tietotyypit tarvitsevat myös tietyn verran muistia, ja se vaihtelee tietotyypin ominaisuuksien mukaan, joten se pitää ottaa huomioon niitä laatiessa, sillä osoitteet eivät saa mennä päällekkäin toistensa kanssa. Esimerkiksi Bool-tietotyyppi vie vain yhden bitin muistia, sillä se on joko päällä tai pois, ja Byte eli tavu-tietotyyppi vie kahdeksan bittiä muistia. Kuvassa 23 on listattu projektissa käytetyt tagit.

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Access...	Write...	Visibl...	Comment
1	XS-098	Default tag table	Bool	%I0.0	☐	☒	☒	☒	Käynnistyskytkin
2	XS-099	Default tag table	Bool	%I0.1	☐	☒	☒	☒	Pysäytyskytkin
3	PT-100	Default tag table	Bool	%I0.2	☐	☒	☒	☒	Kolonnin paineen ylärajan mittaus
4	PT-101	Default tag table	Bool	%I0.3	☐	☒	☒	☒	Kolonnin paineen ylärajan mittaus 2
5	PCV-100	Default tag table	Bool	%Q0.0	☐	☒	☒	☒	Paineenpoistventtiilin ohjaus
6	TT-100	Default tag table	Int	%IW66	☐	☒	☒	☒	Raakaöljyn lämpötilamittaus
7	TC-100	Default tag table	Int	%QW80	☐	☒	☒	☒	Lämmittimen ohjaus
8	LT-100	Default tag table	Int	%IW64	☐	☒	☒	☒	Kolonnin pinnankorkeuden mittaus
9	LCV-100	Default tag table	Real	%MD25	☐	☒	☒	☒	Syöttöventtiilin ohjaus
10	M-100	Default tag table	Bool	%Q0.3	☐	☒	☒	☒	Pumpun moottorin ohjaus
11	FT-100	Default tag table	Bool	%I1.1	☐	☒	☒	☒	Virtauksen mittaus (raakaöljy)
12	FT-101	Default tag table	Bool	%I1.2	☐	☒	☒	☒	Virtauksen mittaus (butaani/propaani)
13	FT-102	Default tag table	Bool	%I1.3	☐	☒	☒	☒	Virtauksen mittaus (petroli)
14	FT-103	Default tag table	Bool	%I1.4	☐	☒	☒	☒	Virtauksen mittaus (diesel)
15	FT-104	Default tag table	Bool	%I1.5	☐	☒	☒	☒	Virtauksen mittaus (pohjaöljy)
16	QT-100	Default tag table	Bool	%I1.6	☐	☒	☒	☒	Raakaöljyn laadun mittaus
17	QCV-100	Default tag table	Bool	%Q0.4	☐	☒	☒	☒	Raakaöljyn poistventtiilin ohjaus
18	VC-100	Default tag table	Bool	%Q0.5	☐	☒	☒	☒	Sivu-ulosoton venttiiliohjaus (pohjaöljy)
19	VC-101	Default tag table	Bool	%Q0.6	☐	☒	☒	☒	Sivu-ulosoton venttiiliohjaus (butaani/pro...
20	VC-102	Default tag table	Bool	%Q0.7	☐	☒	☒	☒	Sivu-ulosoton venttiiliohjaus (petroli)
21	VC-103	Default tag table	Bool	%Q1.0	☐	☒	☒	☒	Sivu-ulosoton venttiiliohjaus (diesel)
22	H-100	Default tag table	Bool	%Q1.1	☐	☒	☒	☒	Prosessi käynnissä -merkkivalo
23	XSA-097	Default tag table	Bool	%Q1.2	☐	☒	☒	☒	Hälyysvalo

KUVA 23. Tags-sivu

Kuvassa 24 on kurssilla toteutettu moottorin ohjaus käyttämällä TIA Portalia. Moottori käynnistyy, kun molemmat vertaustoiminnot %MD4 ja %MD12 aktivoituvat. Moottori sammuu, kun jokin S/R-kiikun R1-kohtaan tulevista muistibiteistä eli %M24.1, %M24.2 tai %M24.3 aktivoituu.



KUVA 24. Esimerkkiteutus moottorin ohjauksesta

5.3 PILOT-prosessi

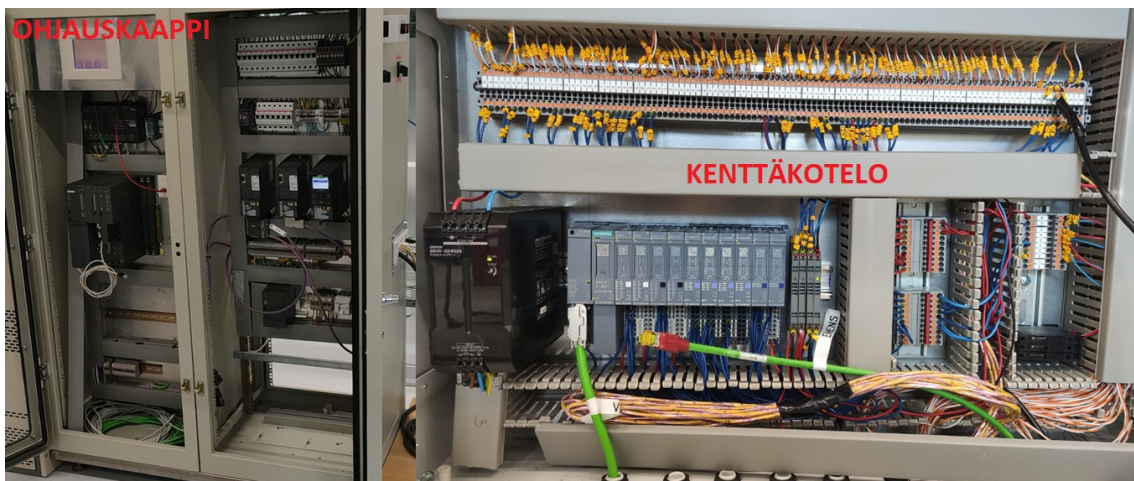
PILOT-prosessi (kuva 25) on harjoituslaitteisto, jolla mallinnetaan virvoitusjuoman tuotannon prosessia. Laitteistokokonaisuus muodostuu kolmen säiliön ympärillä olevista osaprosesseista. Laitteisto on hyvin paljon käytössä monissa automaatiotekniikan kursseissa, ja sen avulla harjoitellaan muun muassa instrumentointia, ohjelmointia, säätötekniikkaa ja testausta. Tuotantoautomaation projektin kurssiosuudessa tehdään PILOT-prosessin ohjaus käyttämällä Siemens PCS 7 -järjestelmää.

PILOT-prosessin ensimmäisessä osaprosessissa johdetaan kylmää ja kuumaa vettä tietyssä suhteessa ensimmäiseen säiliöön, jossa veden lämpötila säädetään haluttuun asteeseen sähkövastuksen avulla. Vettä kierrätetään takaisin säiliöön kierrätysventtiilin kautta, kunnes vesi on saavuttanut halutun lämpötilan. Toisessa osaprosessissa veteen lisätään haluttua väriainetta, joka sekoitetaan veteen säiliössä olevan sekoittimen avulla. Valmis neste pumpataan kolmanteen säiliöön. Kolmannessa osaprosessissa neste annostellaan hihnakuuljettimella liikkuviin purkkeihin annosteluventtiilin avulla.



KUVA 25. PILOT-prosessi

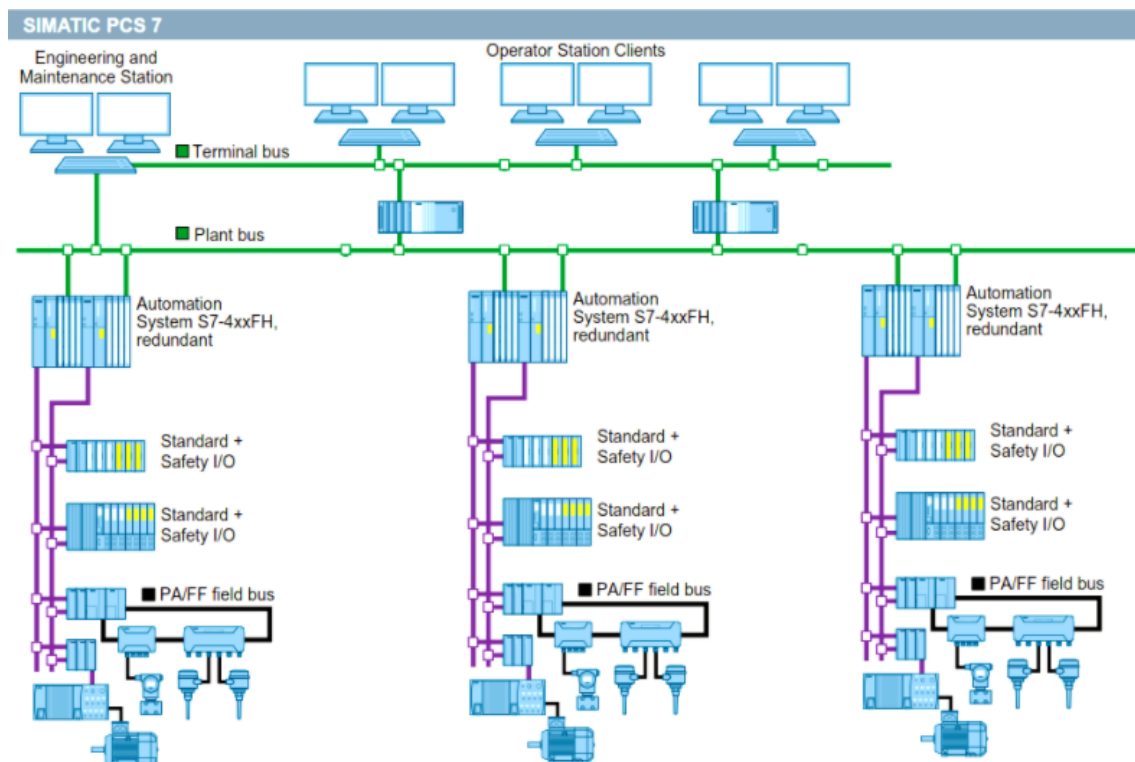
Prosessin ohjauskaappi sisältää ohjausjärjestelmän ytimen eli Siemensin 400-sarjan logiikan sekä myös muut toimintaan vaaditut laitteet: muun muassa sähkö- ja pneumatiikkakäytöt, reitittimet ja väylämuuntimet, väyläliitynnät sekä erillisen ohjauspaneelin. Ohjauskaapin logiikan ja kenttäkotelolon välinen yhteys on toteutettu Profinet-väylällä. Laitteiston toimilaitteet ja anturit on kytketty kenttäkoteloon, jossa on Siemensin ET 200SP-hajautettu I/O. Kuvassa 26 näkyy vasemmalla puolella prosessin ohjauskaappi ja oikealla puolella kenttäkotelolon sisältö ja kytkennät.



KUVA 26. PILOT-prosessin ohjauskaappi ja kenttäkotelo

5.3.1 Siemens SIMATIC PCS 7 -järjestelmä

SIMATIC PCS 7 (Process Control System) on Siemensin hajautettu ohjausjärjestelmä teollisuuden prosessien ohjaamiseen (kuva 27). Järjestelmä on suuresti skaalautuva, joten sitä voidaan käyttää eri suuruisissa ja tyyppisissä prosesseissa. Järjestelmä kuuluu Siemensin TIA-kokonaisuuteen, joka mahdollistaa tuotantoprosessin hallinnan kokonaisuutena tuotannonohjaustasolta lähtien. Kurssiosuudessa käytetään PCS 7 -järjestelmää ja siihen sisältyviä ohjelmistoja PILOT-prosessin hallintaan, ohjelmointiin ja operointinäytön luontiin.

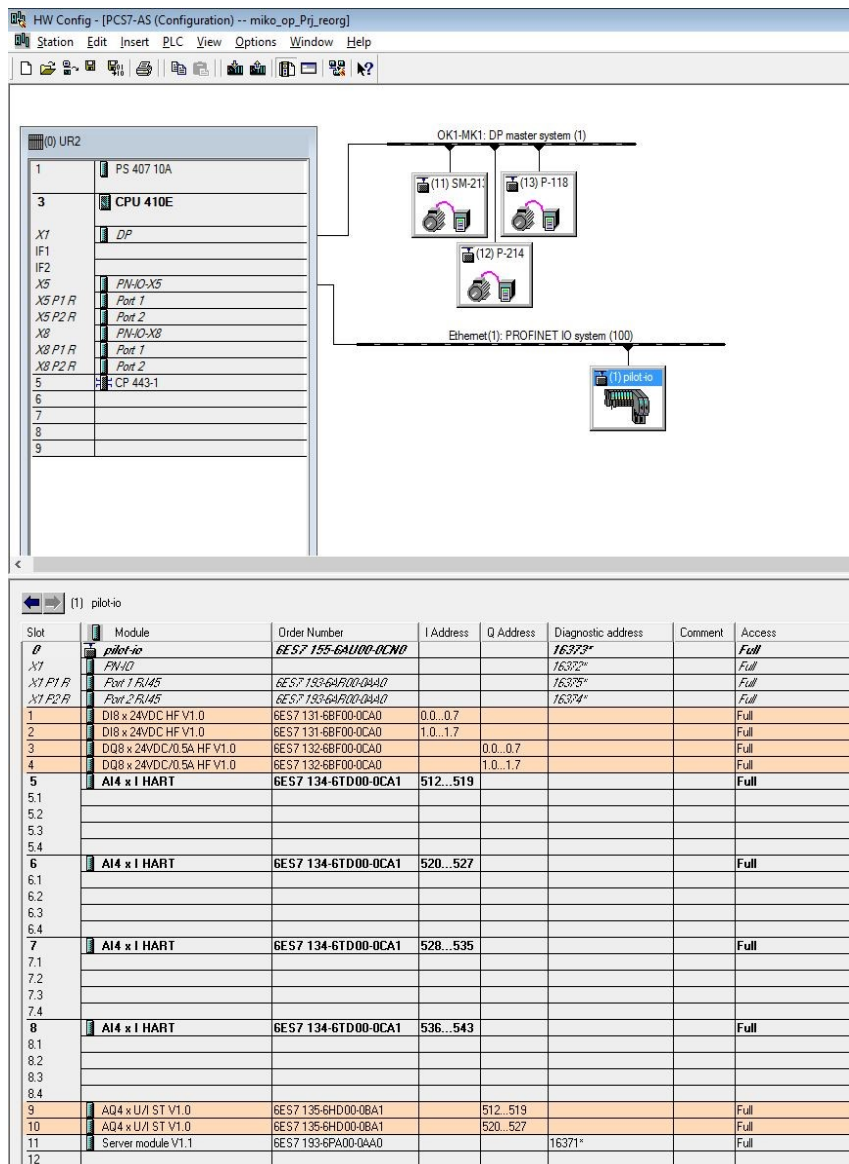


KUVA 27. Tyypillinen PCS 7 -ohjausjärjestelmän rakenne (13)

5.3.2 Simatic Manager

Kurssiosuudessa tehdään PILOT-prosessin annosteluprosessille sovellus ja graafinen operointinäyttö käyttämällä PCS 7 -järjestelmän ohjelmistoja. Projektin luomiseen käytetään Siemensin Simatic Manager -ohjelmistoa. Simatic Manager on pääohjelma, jonka avulla projektia hallitaan ja jonka kautta myös päästään eri editoreihin. Ohjelmassa luodaan laitoshierarkia, jossa esimerkiksi

[illegible]



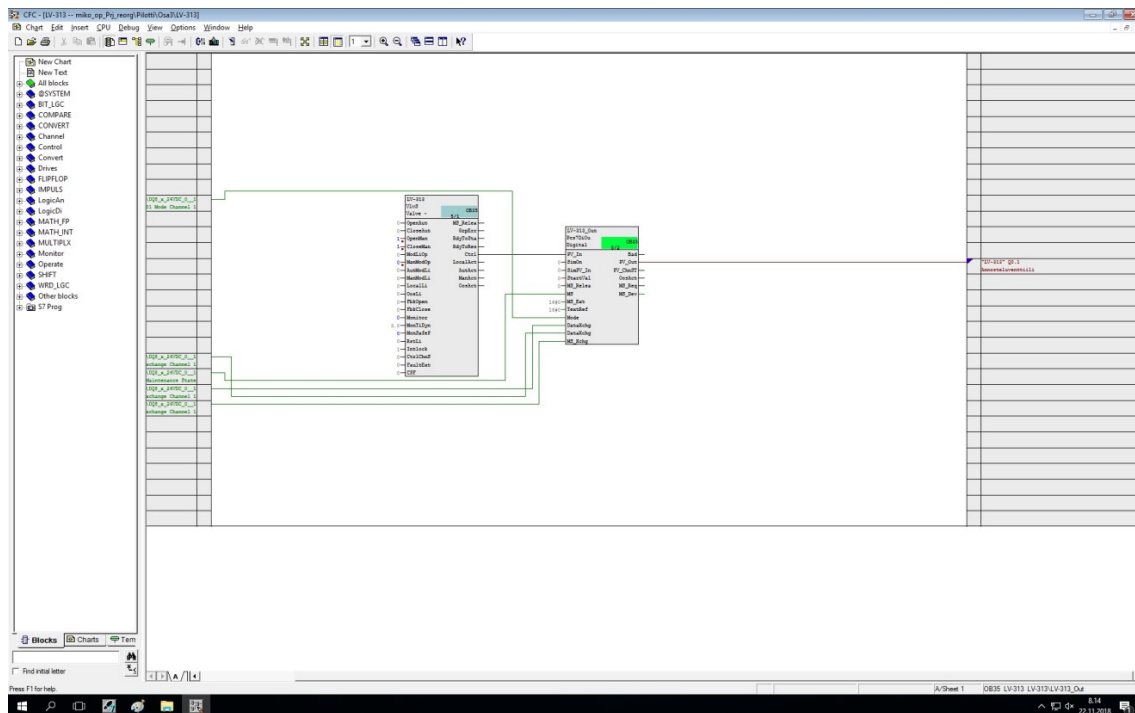
KUVA 29. HW Config -laitekokoonpano (14)

5.3.3 CFC-editor

CFC (Continuous Function Chart) on graafinen editori sovelluksien tekoon. Editoria käytetään koneisten ohjelmarakenteiden luomiseen CPU:lle. Editorissa sijoitetaan toimilohkot työtilaan, jossa niille määritellään parametrit ja kytketään toisiinsa. Kytkeminen tarkoittaa blokkien tulojen ja lähtöjen tiedon siirtämistä toiseen lohkon tai ohjelman lähtöön tai tuloon.

CFC-editorissa käytetään graafisia työkaluja. Ohjelmassa tarvittavat lohkot valitaan valmiista valikosta, josta ne siirretään ohjelmaan ja kytketään hiiren avulla. Ohjelmalohkoja voi noutaa valmiista

kirjastosta tai tehdä itse ja myös valmiista ohjelmasta voidaan kääntää ohjelmalohko. Sovelluksessa käytetyille lohkoille on annettu oletuksena suoritusjärjestys, joka kannattaa kuitenkin muuttaa vastaamaan oman sovelluksen tarpeita. Suoritusjärjestyksen muuttamiseen on oma työkalu. Ohjelma ladataan prosessiasemalle, jossa se voidaan testata ilman prosessiin kytkemistä. (15.) Kuvassa 30 on annosteluventtiilin ohjaus, joka on toteutettu CFC-editorilla.



KUVA 30. Annosteluventtiilin ohjaus (14)

5.3.4 SFC

SFC (Sequential Function Chart) on sekvenssiohjausjärjestelmän luomiseen tehty käyttöliittymä. Askelohjauksessa toimintoja ohjataan ohjaamalla askeleessa määritellyjä lähtöjä. Siirtyminen seuraavaan askeleeseen määritellään etenemisehdoilla. Askelohjausta käytetään prosessi- ja kappaletavaraoteollisuudessa esimerkiksi ohjaamaan prosessin tilanvaihtoja, asetusrvojen muutoksia ja yhteisten resurssien käyttöä. Toimintoina tämä tarkoittaa yksittäisten instrumenttien, kuten pumpujen, venttiilien ja moottorien ohjausta tai osaprosessien, kuten sekoituksen, lämmityksen ja täytön, ohjausta. (15.) Kuvassa 31 näkyy SFC:llä tehty annosteluprosessin sekvenssi.

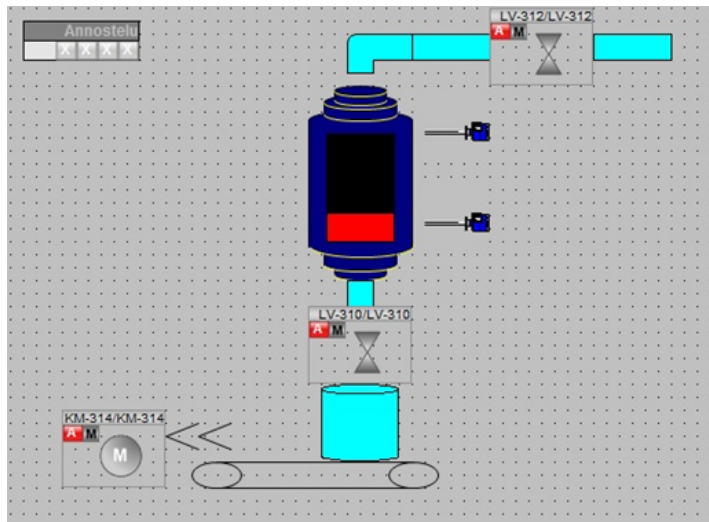


KUVA 31. Sekvenssin rakenne (14)

5.3.5 WinCC

WinCC toimii rajapintana prosessin ja käyttäjän välillä. Ohjelma on riippumaton käytettävästä teknologiasta ja teollisuuden alasta. Sovelluksella voidaan tehdä valvomosovelluksia tuotanto- ja prosessiautomaatioon. (14.)

WinCC on erittäin monipuolinen työkalu, joka sisältää monenlaisia editoreita, kuten prosessin grafiikan luomiseen tarkoitettu Graphics Designer (kuva 32) sekä Alarm- ja Tag Logging -työkalut. Alarm Logging -työkalulla määritellään projektille hälytykset ja viestit. Työkalulla on mahdollista määritellä viestille luokka, tyyppi, näyttö ja raportti. Tag Logging -työkalun tehtävänä on hallita prosessilta tulevaa tietoa. Ohjelmistolla voidaan tallentaa tietoa myöhempää käyttöä varten. Datan tallentaminen mahdollistaa datan myöhemmän tutkimisen esimerkiksi trendinä. (14.)



KUVA 32. Graphic Designerilla luotu annosteluprossessin käyttöliittymä (14)

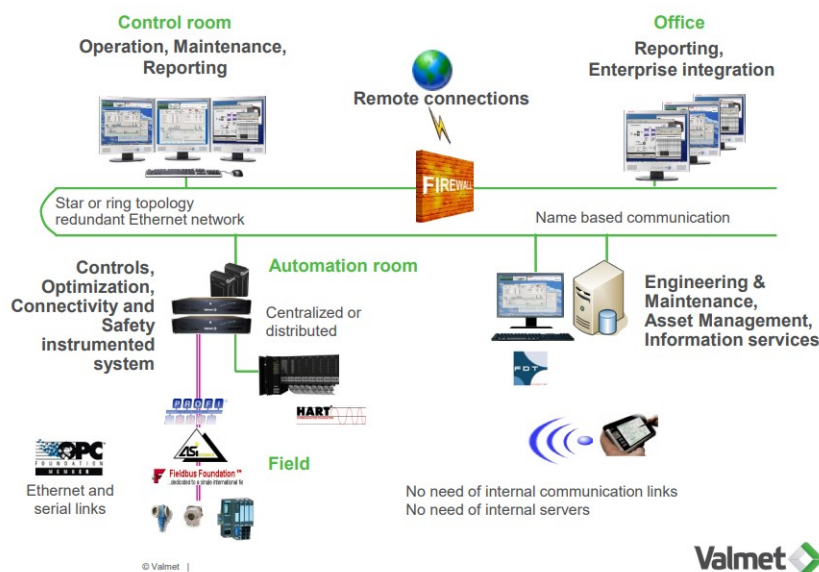
6 PROSESSIAUTOMAATION PROJEKTI

Prosessiautomaation projekti -kurssin sisältö jaetaan kolmeen eri osuuteen, joissa tehdään erilaisia prosessiautomaatioon liittyviä harjoituksia sekä kaksi projektityötä. Kurssin jokaisessa osuudessa käytetään Valmet DNA-järjestelmän ohjelmistoja, joiden avulla tehdään muun muassa logiikkaohjelmointia, operointinäytön luomista ja prosessien säätöä, ohjausta ja simulointia. Käytettävät Valmet DNA-ohjelmistot sijaitsevat EAS-suunnittelupalvelimella, johon otetaan etäyhteys.

6.1 Valmet DNA

Valmet DNA (Dynamic Network of Applications) on hajautettu prosessiautomaatiojärjestelmä, joka koostuu eri automaatio-ohjelmistoista, jotka yhdessä laitesovelluksien kanssa muodostavat kokonaisen järjestelmän (kuva 33). Valmet DNA-ohjelmistoilla pystytään tekemään muun muassa koneiden ja laitteiden hallintaa, laadunhallintaa, prosessiohjausta ja historiatietojen keruuta. Ohjattavat järjestelmät skaalautuvat pienistä prosesseista kokonaisen tehtaan toimintaan. Prosessiautomaation projekti -kurssilla käytetään Valmet DNA:n Function Block CAD-, Sequence CAD-, Picture Designer- ja DNA Explorer -ohjelmistoja.

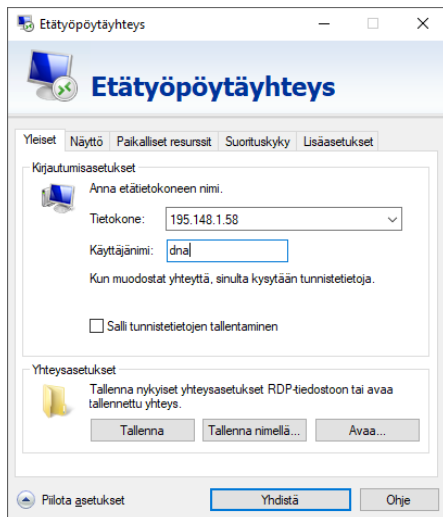
Valmet DNA architecture



KUVA 33. Valmet DNA-järjestelmän rakenne (15)

6.2 EAS-palvelin ja etäyhteys

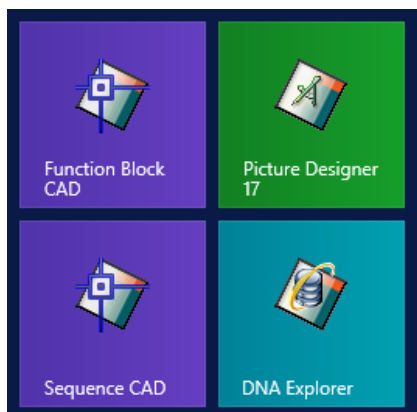
EAS-suunnittelupalvelin on laboratoriossa sijaitseva verkkopalvelin, joka sisältää käytettävät Valmet DNA-ohjelmistot. Etäyhteyttä varten tulee käyttäjän olla koulun verkossa tai yhteydessä VPN:n kautta. Etäyhteys tehdään etätyöpöytäyhteys-ohjelmalla (kuva 34). Tarvittava IP-osoite, käyttäjänimi ja salasana annetaan opiskelijoille, kun he aloittavat kurssin suorittamisen.



KUVA 34. Etätyöpöytäyhteys

6.3 Valmet DNA-projektityö

Valmet DNA-projektityössä tehdään prosessisovellus käyttämällä Valmet DNA-ohjelmistoja. Kurs-
siosuudessa opiskelijaryhmät toimivat prosessien tilaajina ja toimittajina. Aiheina ja lähtöaineistoina
voidaan käyttää samoja, aikaisemmin tehtyjä aineistoja, joita käytettiin tuotantoautomaation pro-
jektissa. Projektin loppuvaiheessa tehdään sovellukselle testaus. Projektin tekemiseen käytetään
Function Block CAD-, Sequence CAD-, Picture Designer- sekä DNA Explorer -ohjelmistoja (kuva
35).

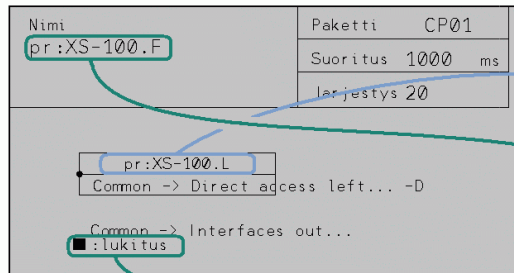


KUVA 35. Käytettävät EAS-palvelimen ohjelmistot

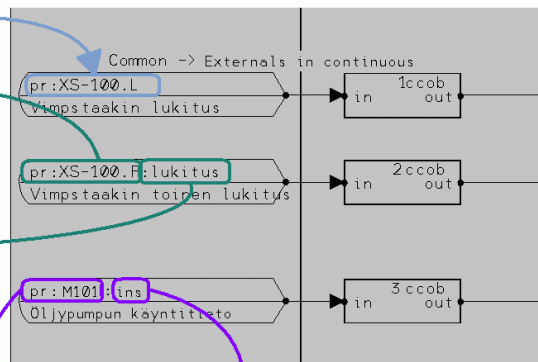
6.3.1 Function Block CAD (FbCAD)

Prosessisovellus luodaan käyttämällä Function Block CAD -ohjelmistoa, jossa moduuleihin teh-
dään sovellukset käyttämällä toimilohkoja. Moduulit kommunikoivat toistensa kanssa ulkoisten tulo-
ja lähtöporttien kautta (kuva 36), jotka sijaitsevat moduulin vasemmassa ja oikeassa laidassa. Mo-
duulin ylä- ja alaosassa on tietoa moduulista, muun muassa moduulin nimi, prosessiasema, osasto,
moduulia kuvaava teksti, sivunumero ja tagin nimi. Keskiosan ohjelmointitilaan sijoitetaan toimiloh-
kot ja niiden väliset kytkennät, jotka suorittavat vaaditut toiminnot. Suoritusjärjestys menee moduu-
lissa yleensä vasemmalta oikealle, ja jokaisessa toimilohkossa on numero, joka ilmoittaa kyseisen
lohkon suoritusjärjestyksen. Esimerkiksi kuvassa 37 olevassa pr:M-100-moottorilohkossa lukee
”140 mtr2”, joka tarkoittaa, että kyseessä on mtr2-tyyppinen toimilohko, jonka suoritusjärjestys on
140. Kaikki toimilohkot, joiden suoritusjärjestys on pienempi kuin 140, suoritetaan ennen sitä.

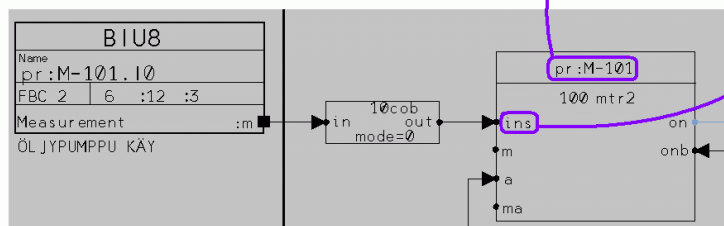
Tietoa tarjoava moduuli



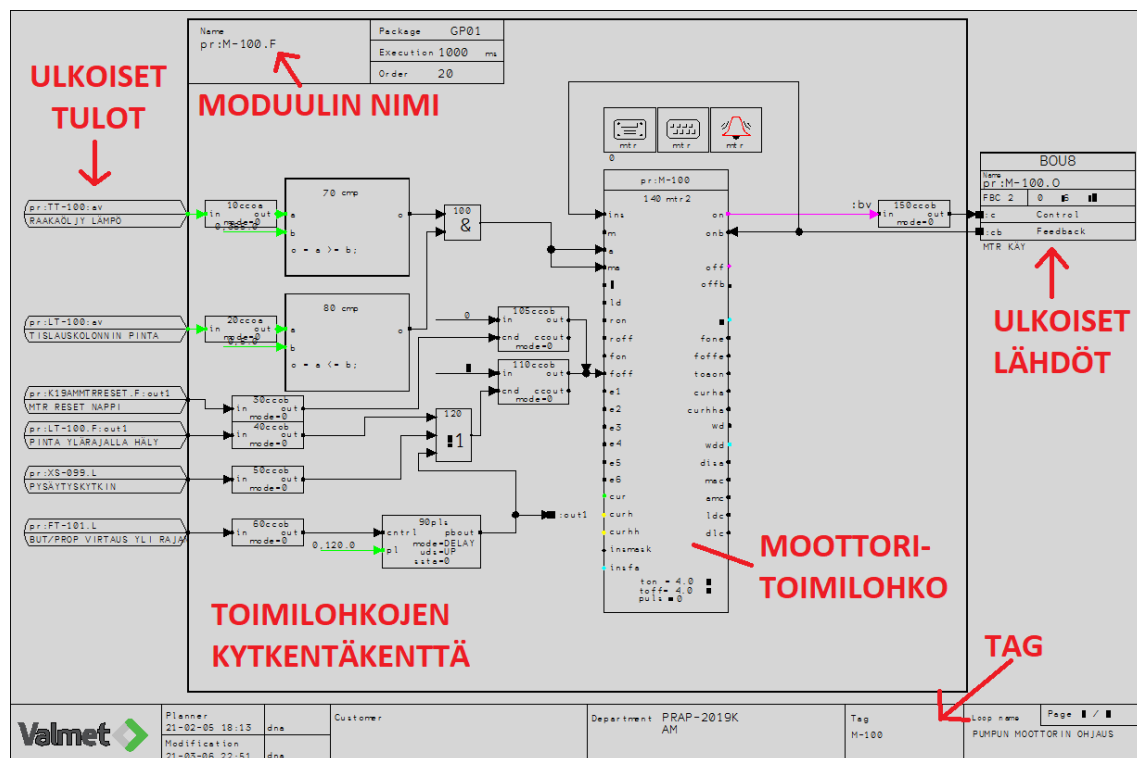
Tietoa lukeva moduuli



Tietoa tarjoava moduuli



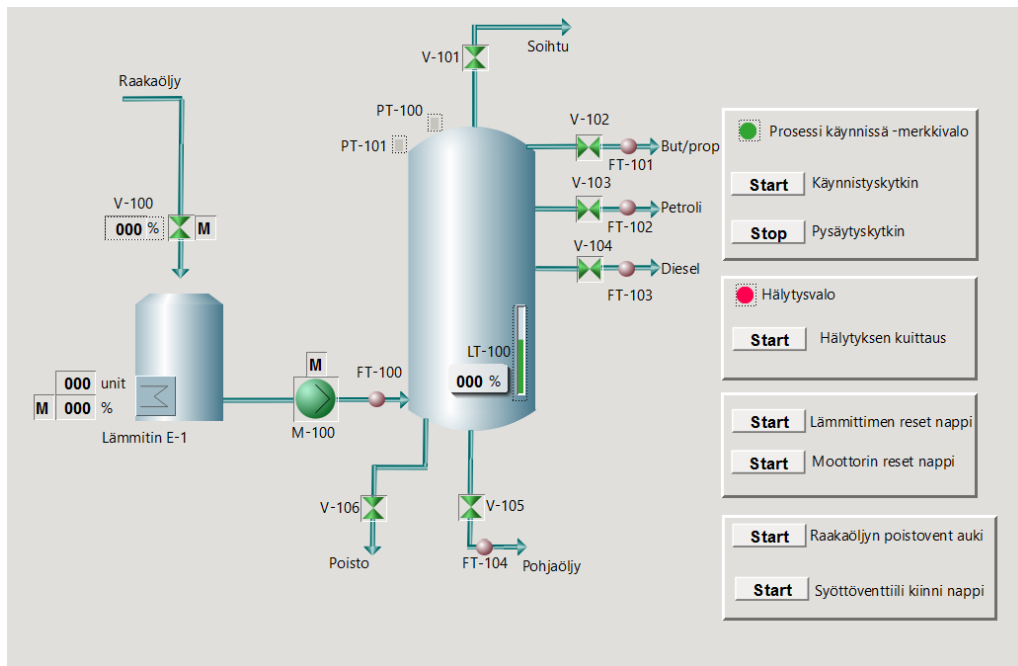
KUVA 36. FbCAD-moduulien välinen kommunikointi (16)



KUVA 37. Öljyntislausprosessin moottorin toimintamoduuli

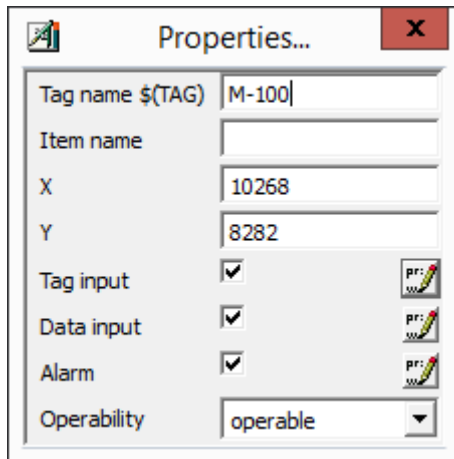
6.3.2 Picture Designer

Picture Designer on graafisten operointinäyttöjen tekemiseen suunniteltu ohjelmisto. Kurssilla luodaan operointinäyttö prosessille, joka tehdään kuvaamaan oikeaa fyysistä prosessia mahdollisimman hyvin. Ohjelmisto sisältää laajan valikoiman eri kuvakkeita, esimerkiksi putkia, säiliöitä, pumppuja ja moottoreita, venttiilejä, analogisia mittauksia, kytkimiä ja merkkivaloja. Kuvakkeet kopioidaan kuvakekirjastosta, jonka jälkeen ne voidaan liittää suunnittelunäytölle. Kuvassa 38 on valmis operointinäytösuunnittelu kurssilla tehdylle öljyntislausprosessille.



KUVA 38. Öljyntislausprosessin operointinäyttö toteutettu Picture Designerillä

Jotta kuvakkeet toimisivat sovelluksen kanssa, tulee ne linkittää käytettäviin moduuleihin ja niiden toimilohkoihin. Yksi tapa linkittää kuvake toimilohkoon on tagin perusteella. Kuvassa 39 näkyy pumppun M-100 linkitys moduuliin, jonka tag on myös M-100. Tällä tavalla kuvake löytää oikean lohkon, jonka tietoa lukea.



Tag name \$(TAG)	M-100
Item name	
X	10268
Y	8282
Tag input	☒
Data input	☒
Alarm	☒
Operability	operable

KUVA 39. Pumpun M-100 ominaisuudet ja linkitys M-100-moduuliin

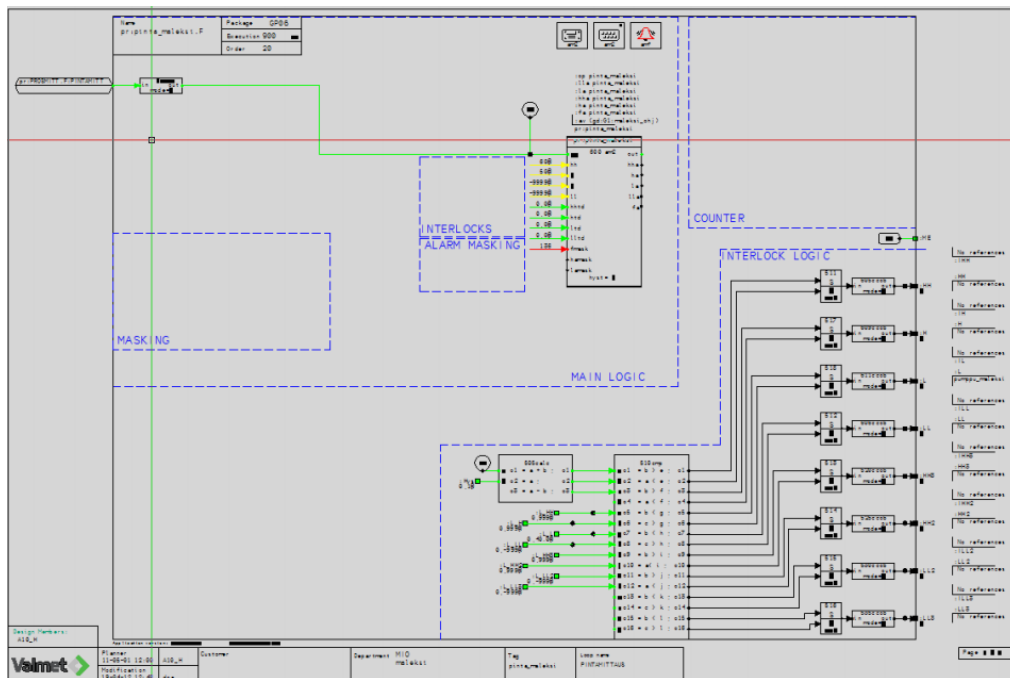
6.4 Pumpun ja virtausmittauksen projektityö

Pumpun ja virtausmittauksen projektityössä toteutetaan sovellus- ja operointinäyttösuunnittelu pumpppu-prosessille käyttämällä Valmet DNA:n FbCAD- ja Picture Designer -ohjelmistoja. Pumpppu-prosessi (kuva 40) on yksinkertainen vettä kierrättävä harjoituslaitteisto, joka koostuu muun muassa kahdesta säiliöstä, pumpusta, säätö- ja käsiventtiilistä sekä pinnan- ja paineenmittausantureista. Laitteiston avulla harjoitellaan tekemään muun muassa paineen- ja pinnanmittauksen säätöä, lukituksia ja prosessin ohjausta operointinäytöltä.

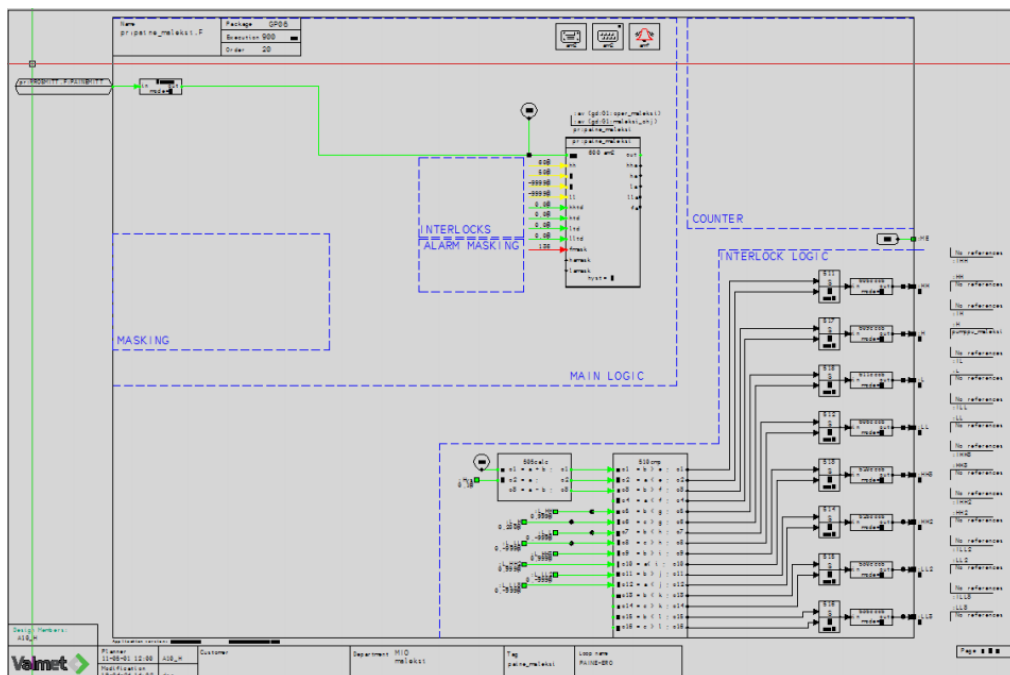


KUVA 40. Pumpppu-prosessi

Pumppu tulee pystyä käynnistämään ja sulkemaan ohjausnäytöltä. Operointinäytölle tehdään paineensäätöpiiri, jota voidaan säätää venttiiliohjauksen avulla. Pinnanmittaukselle tehdään mittausnäyttö, josta pinnan korkeus voidaan nähdä reaaliaikaisesti. Paineen- ja pinnanmittauksen arvoja luetaan niille valmiiksi tehdyistä moduuleista, joiden tietoa luetaan sovelluksessa. Paineen- ja pinnanmittausmoduulit näkyvät kuvissa 41 ja 42.

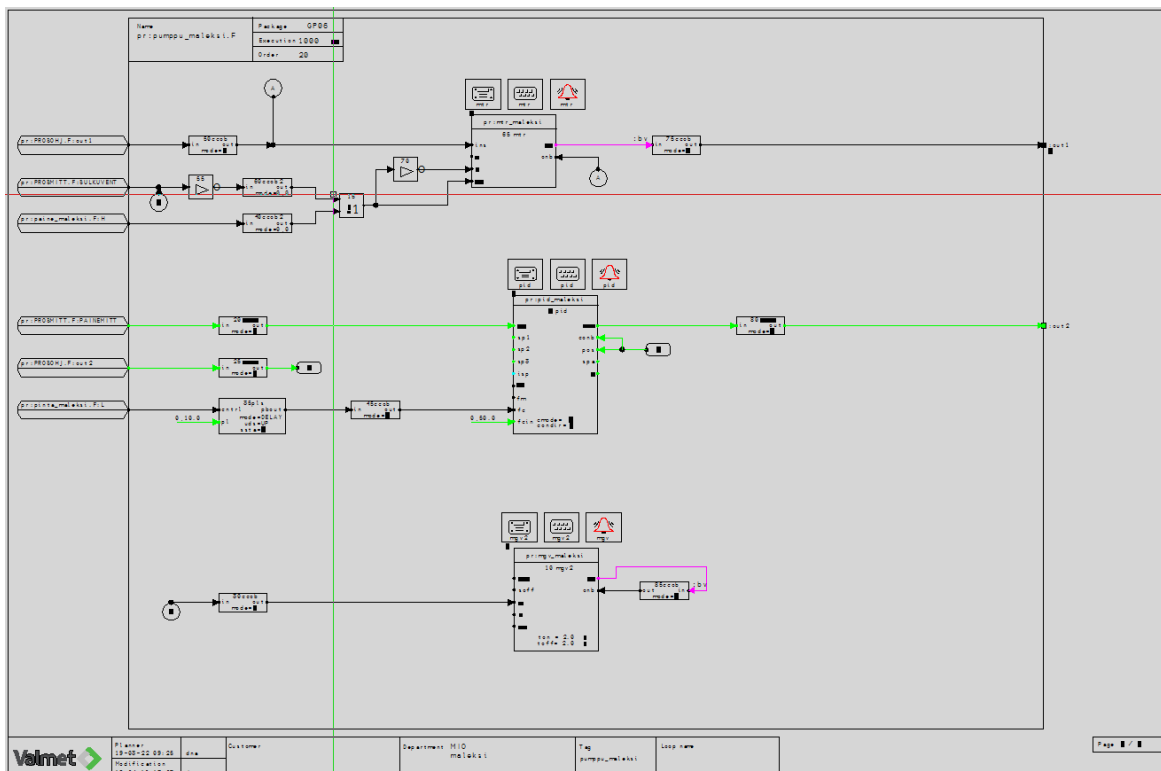


KUVA 41. Pinnanmittausmoduuli



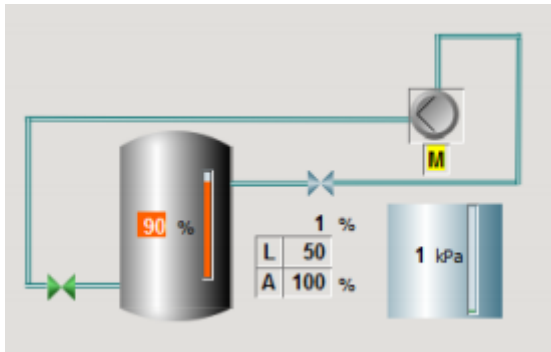
KUVA 42. Paineenmittausmoduuli

Kuvassa 43 on pumpuprosessille tehty FbCAD-sovellus kokonaisuudessaan. Moduulissa tarvitaan PID-säätimelle, pumpulle ja säätöventtiilille omat toimilohkonsa. Lohkoille tehdään operointi-, positio- ja hälytysmoduulit, joiden avulla lohkoja pystytään käyttämään operointinäytöltä ja näkemään niiden hälytystilat. Operointi-, positio- ja hälytysmoduulit sijaitsevat kyseisten lohkojen päällä. Sovellukseen tehdään pumpun lukitus paineenmittauksesta: paineen noustessa yli ylärajan, tulee pumpun pysähtyä. Pumpun tulee myös pysähtyä, jos vesisäiliön käsiventtiili suljetaan. Säätöventtiilille tehdään lukitus pinnanmittauksesta: jos vesisäiliön pinnanmittaus on alle alarajan tietyn ajan, aukeaa säätöventtiili tietyn verran, jolloin vesisäiliö alkaa taas täyttymään.



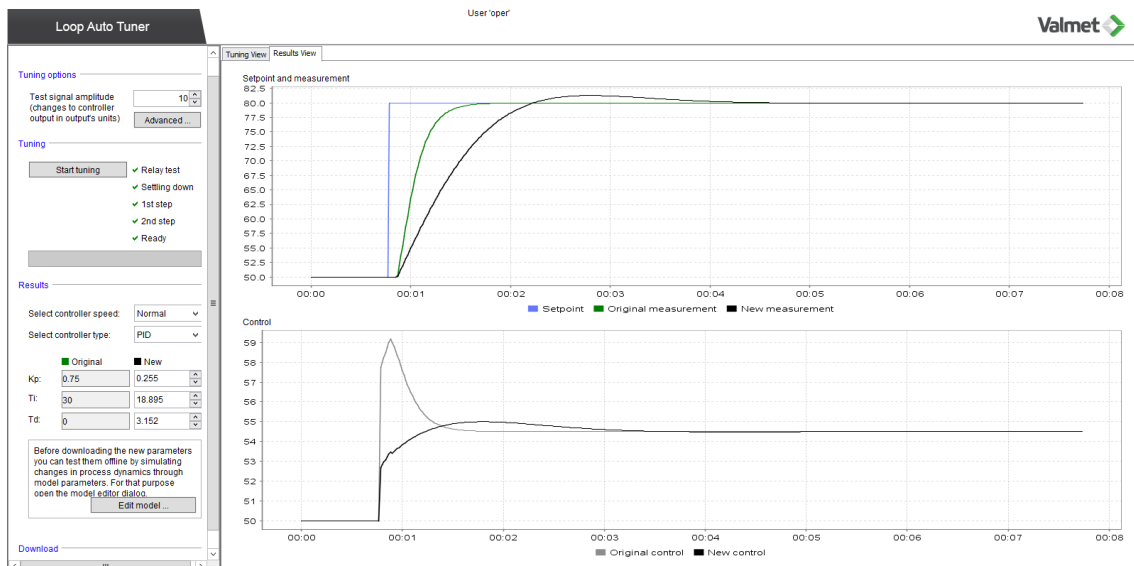
KUVA 43. Pumpuprosessille tehty FbCAD-sovellus

Prosessille luodaan operointinäyttö (kuva 44) käyttämällä Picture Designeria. Kuvaan linkitetään PID-säädin, moottori, pinta- ja painetieto sekä sulkuventtiili tehdyn sovelluksen perusteella. Operointinäytöltä pystytään näkemään esimerkiksi venttiilin asetusarvo ja laittamaan se joko manuaaliksi tai automaattitilaan sekä käynnistämään moottori.



KUVA 44. Operointinäyttö

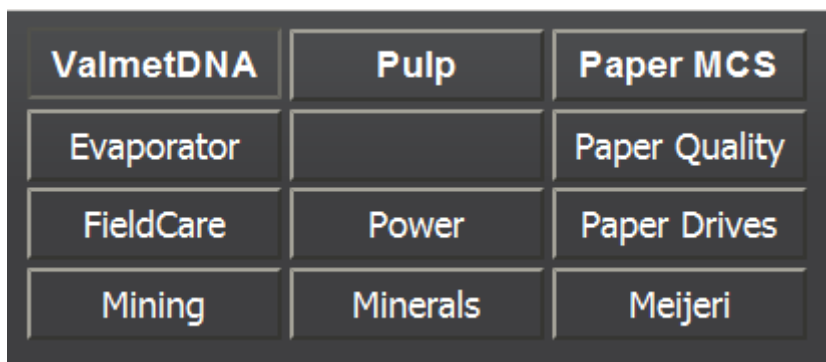
Kurssin loppuvaiheessa tehdään paineen säätimen viritys käyttämällä Valmetin Loop Auto Tuner -ohjelmistoa. Ohjelmistoon syötetään testattavan signaalin amplitudi, jonka jälkeen ohjelma virittää säätimelle uuden vahvistuksen (K_p), integrointiajan (T_i) ja derivointiajan (T_d). Kuvan 45 ylempi kuvaaja näyttää asetusarvon (sininen), alkuperäisen mittauksen (vihreä) sekä uuden mittauksen (musta). Alempi kuva näyttää alkuperäisen ohjauksen (harmaa) ja uuden ohjauksen virityksen jälkeen (musta). Suuren eron huomaa, kun katsoo alkuperäistä ohjausta ja vertaa sitä uuteen ohjaukseen. Alkuperäinen ohjaus nousee alussa rajusti, jonka jälkeen lähtee nopeasti laskemaan.



KUVA 45. Paineen säätimen viritys

6.5 Prosessisimulaattorit

Simulaattoritöissä perehdytään EAS-palvelimella sijaitseviin prosessisimulaattoreihin. Simulaattoreiden avulla perehdytään eri osaprosessien toimintaan, säätöpiireihin, sekvensseihin ja prosessinohjaukseen sekä -hallintaan. Palvelimella on muun muassa voimalaitos-, kiviaineksen käsittely-, paperitehdas- ja meijerisimulaattorit. Opinnäytetyössä esitellään tarkemmin voimalaitossimulaattoria ja mining-simulaattoria. Kuvassa 46 näkyy simulaattorivalikko, jonka kautta pääsee käyttämään palvelimen eri simulaattoreita.

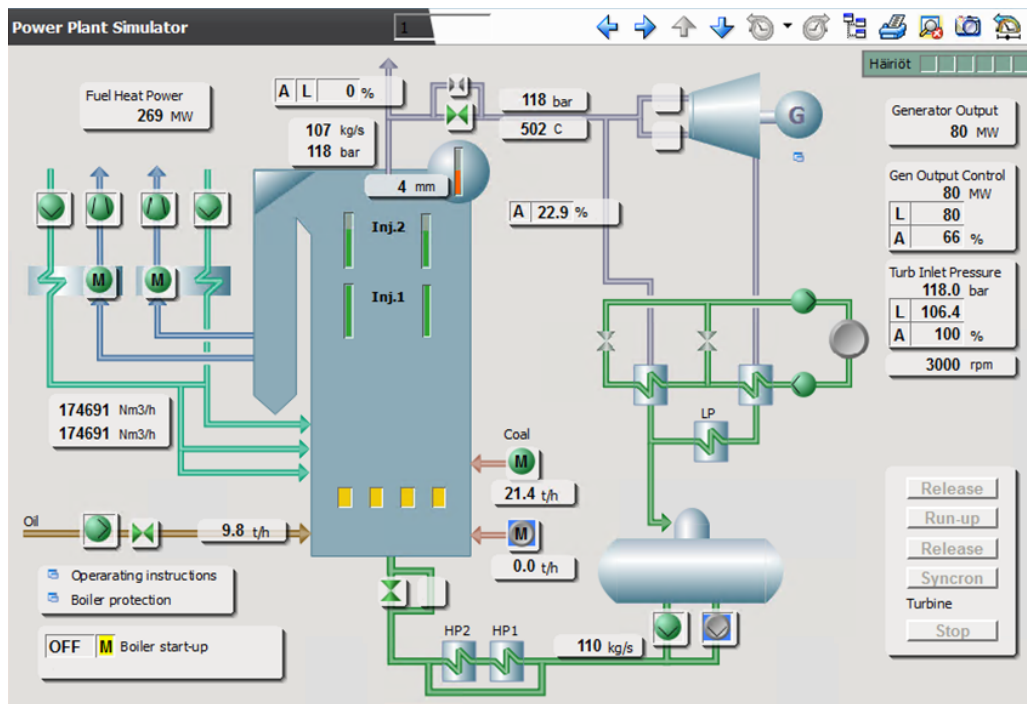


KUVA 46. Simulaattorivalikko

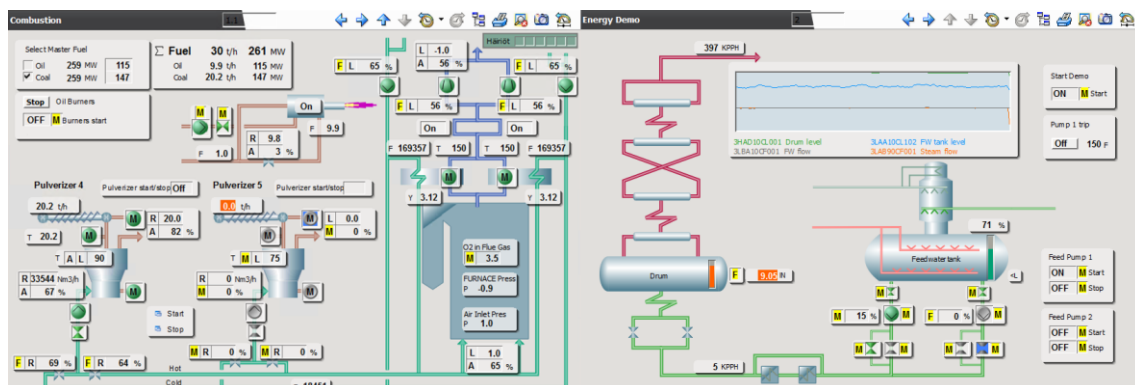
6.5.1 Voimalaitossimulaattori

Voimalaitossimulaattorin prosessimallilla kuvataan sähköä ja kaukolämpöä tuottavaa voimalaitosta. Työssä perehdytään Valmet DNA CR Demo -voimalaitossimulaattorin toimintaan ja sen yleisimpiin säätöpiireihin sekä voimalaitoksen hallintaan. Työssä tutustutaan myös voimalaitoksen tärkeimpiin osaprosesseihin, kuten polttoaineen syöttöön, veden höyrystykseen ja tulistukseen sekä generaattorin toimintaan ja laitoksen ohjausperiaatteisiin. (17.)

Simulaattorin käyttöliittymä koostuu muutamasta valvomonäytöstä: pääprosessia kuvaava päänäyttö (kuva 47) sekä osaprosesseja kuvaavat alanäytöt (kuva 48), joissa näkyvät polttoaineen syöttö, tuloilma ja savukaasut sekä syöttövesi ja höyry. Navigointi ikkunasta toiseen tapahtuu yläpalkissa olevilla nuolinäppäimillä. (17.)



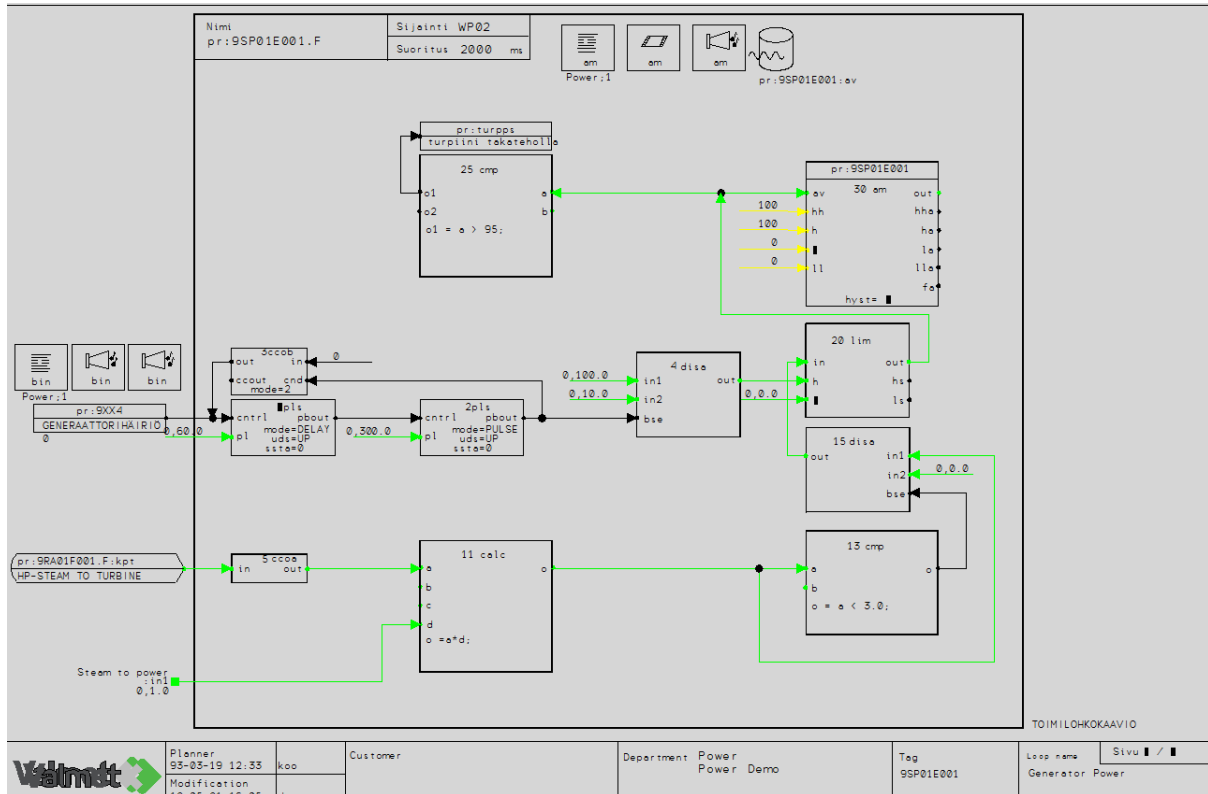
KUVA 47. Voimalaitossimulaattorin päänäyttö



KUVA 48. Vasemmalla puolella hiilen- ja öljynsyöttöpiirit sekä tuloilma- ja savukaasuvirtaukset, oikealla puolella veden ja höyrynsyötön osaprosessi

Työssä perehdytään myös simulaattoreiden toteutustapaan. Simulaattorit on tehty käyttämällä FbCAD-ohjelmistoa, ja voimalaitossimulaattorin FbCAD-moduulit löytyvät DNA-Explorerin kansiosta Power. Kuvassa 49 on esimerkkinä moduuli, joka määrittää turpiinin toiminnan generaattorihäiriön sattuessa. Jos generaattorihäiriö on aktiivinen (1) 60 sekunnin ajan, se etenee pulssilohkon jälkeen 4 disa-lohkoon, jossa vikatilassa käytetään in1 arvoa eli 100.0, josta se siirtyy 20 lim-lohkon h-arvoksi, jolloin on mahdollista, että output-arvo on yli 95, mikä tarkoittaa sitä, että on tapahtunut generaattorihäiriö ja turpiini menee takateholle. Normaalitilanteessa 20 lim-lohkon h-arvo

von on 10.0, mikä kopioidaan outputtiin, joten tällöin ei ole mahdollista, että outputin arvo 95 ylittyy. Turpiinin toiminnan takateholla määrittää vertauslohko 25 cmp, jossa o1 aktivoituu, kun a:n arvo on suurempi kuin 95.



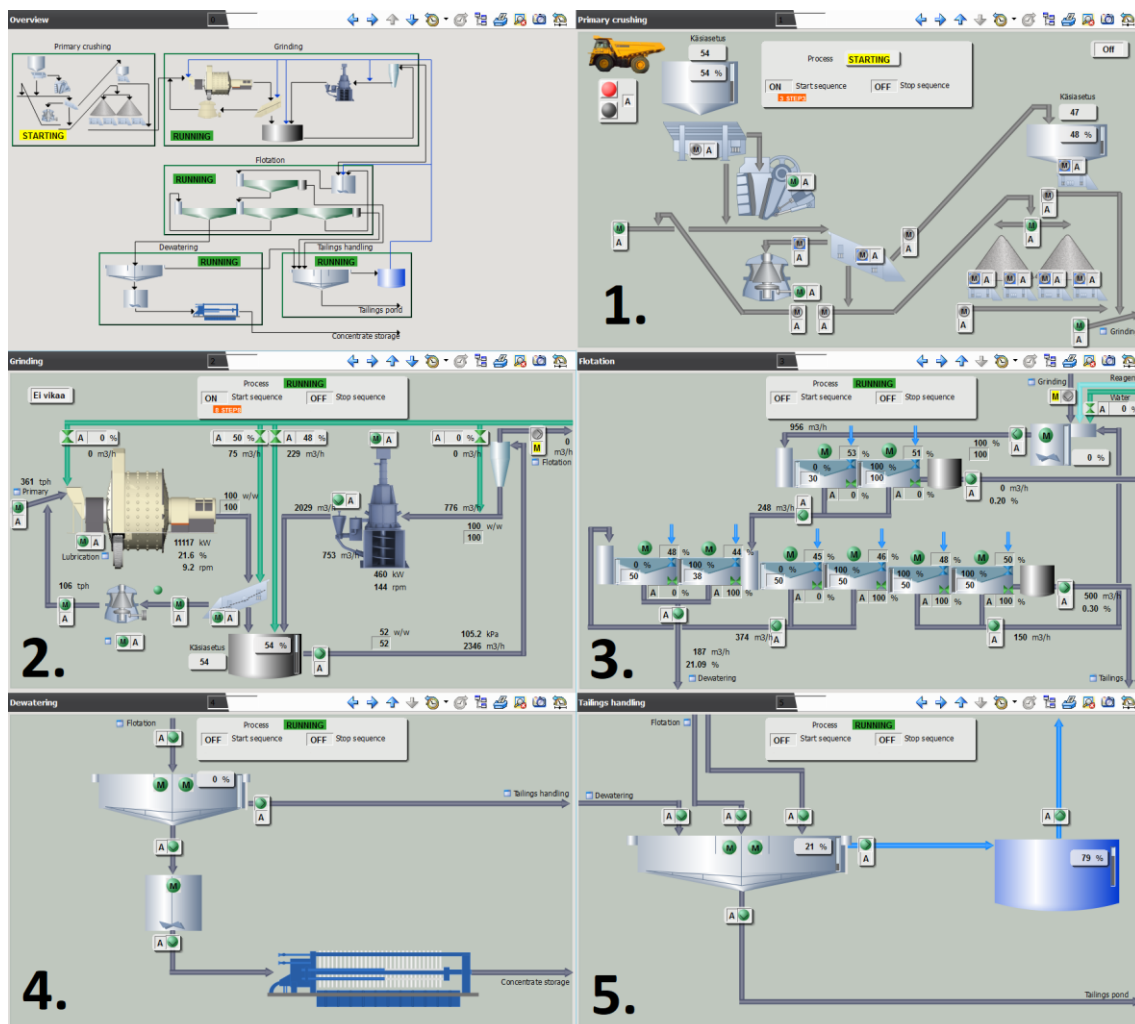
KUVA 49. Generator Power -moduuli

6.5.2 Mining-simulaattori

Mining-simulaattori simuloi kiviaineksen käsittelyn prosessia. Prosessi koostuu viidestä eri osaprosessista (kuva 50):

- Primary crushing eli ensimurskaus
- Grinding eli hienonnus
- Flotation eli vaahdotusrikastus
- Dewatering eli vedenpoisto
- Tailings handling eli jätteen käsittely.

Työssä perehdytään jokaisen osaprosessin toimintaperiaatteesen, mittauksiin, sekvensseihin ja ohjausmuuttujiin.



KUVA 50. Mining-simulaattorin yleiskatsaus (vasen ylänurkka) ja osaprosessit, jossa 1. on primary crushing eli ensimurskaus, 2. on grinding eli hienonnus, 3. on flotation eli vaahdotusrikastus, 4. on dewatering eli vedenpoisto ja 5. on tailings handling eli jätteen käsittely

Ensimmäisessä osaprosessissa kiviaines murskataan pienemmiksi paloiksi eri murskaimilla ja kuljetetaan prosessissa eteenpäin liukuhihnoilla. Toisessa osaprosessissa murskattu kiviaines vie­dään eri myllyihin, joissa se hienonnetaan pienemmiksi paloiksi. Hienonnettuun kiviainekseen lisä­taan myös vettä, ja se pumpataan seuraavaan osaprosessiin. Kolmannessa osaprosessissa ta­pahtuu vaahdotusrikastus, jonka tarkoitus on arvomineraalien erotus muusta kiviaineksestä. Arvo­mineraalit viedään vedenpoistoon ja rikastusjäte pumpataan jätteiden käsittelyyn. Neljännessä osaprosessissa tapahtuu vedenpoisto, jossa arvomineraalit kuivataan ja viedään varastoon. Muu hyödytön kiviaines pumpataan viidenteen osaprosessiin. Viidennessä osaprosessissa eli jätteiden käsittelyssä viedään hyödytön kiviaines suureen säiliöön, josta se johdetaan rikastusjätealtaaseen.

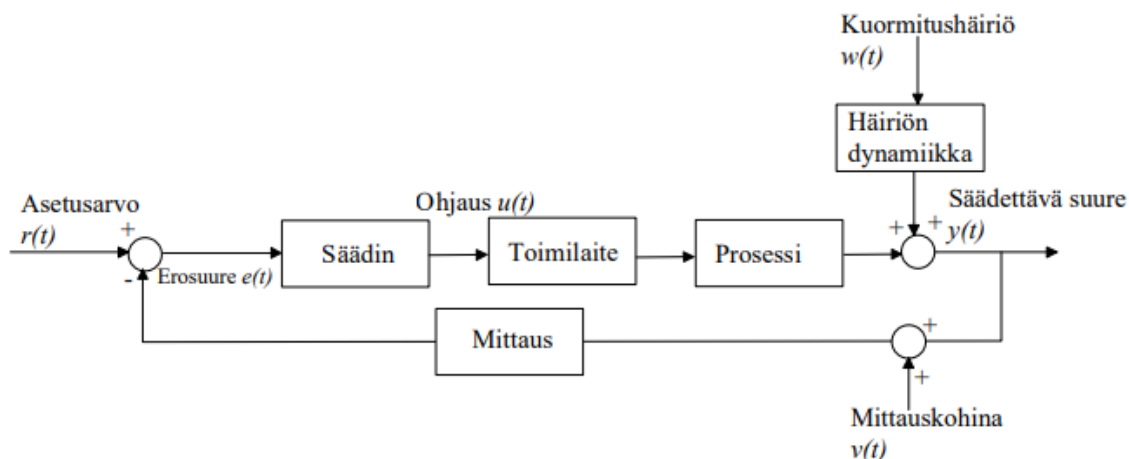
7 CONTROL ENGINEERING

Kurssi sisältää luentoja sekä lasku- ja GNU Octave -simulointiharjoituksia, joiden sisältö painottuu tyypillisimpien teollisuusprosessien säätöön, viritykseen ja simulointiin PID-säädinten avulla. Kursin alussa perehdytään lyhyesti säätötekniikan perusteisiin ja tyypillisimpien dynaamisten prosessimallien muodostamiseen. Seuraavaksi perehdytään erilaisiin PID-säädintyyppeihin ja tarkastellaan PID-säädinten rajoituksia. PID-säädön virityskappaleessa tutustutaan tyypillisimpiin PID-säätimen viritysmenetelmiin. Lopuksi käsitellään tyypillisimpiä yhdistettyjä PID:llä toteutettuja säätörakenteita sekä käydään läpi eräitä yksikköprosessin säätöön liittyviä ominaispiirteitä. (18.)

7.1 Säätötekniikka

Automaatiotekniikassa säätötekniikalla tarkoitetaan järjestelmiä, joiden avulla prosessia voidaan säätää automaattisesti mittaustiedon perusteella. Säätötekniikan termillä voidaan tarkoittaa myös manuaali- eli käsisäätöistä prosessia. Säätötekniikka perustuu takaisinkytkentään, jossa mittaustiedon avulla vaikutetaan säätimen ohjaukseen. Automaattinen järjestelmä yrittää saavuttaa sille syötetyn ohje- tai asetusarvon ohjaamalla jonkin toimilaitteen tai osaproessin toimintaa.

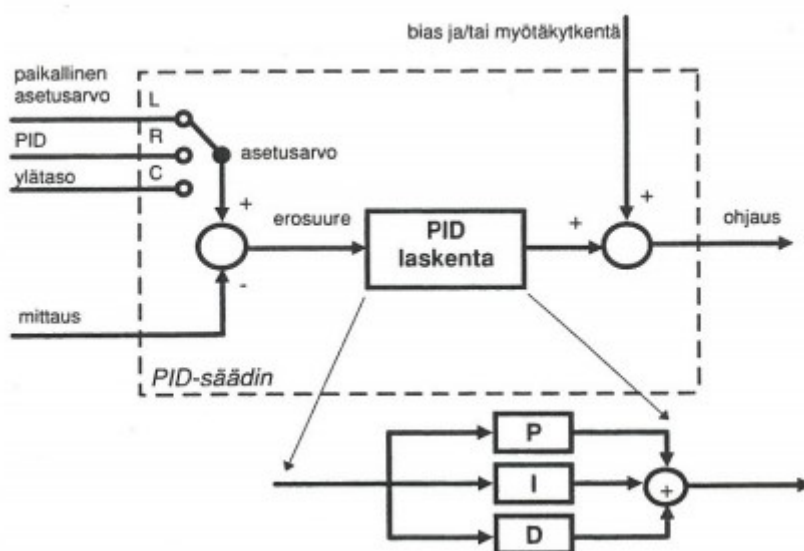
Järjestelmien pelkistettynä esityksenä käytetään lohkoavioesitystä (Kuva 51), jossa ollaan kiinnostuneita signaaleista, ei niinkään prosessin fyysisestä rakenteesta. Lohkoon tulevaa signaalia kutsutaan tuloksi (input) ja lohkoista lähtevää signaalia lähdöksi (output). Esimerkiksi säätimen lähtö (eli ohjaus) on tulona toimilaitteelle. Säätöpiiri muodostuu ohjattavasta prosessista, mittauslaitteista ja toimilaitteista. Tunnusomaista sille on säädettävän suureen mittaaminen ja mittaustuloksen sekä halutun arvon keskinäinen vertaaminen, sekä tämän perusteella sellaisen toimenpiteen suorittaminen, joka muuttaa säädön kohteena olevaa suuretta kohti haluttua arvoa. Säädön kohteeksi valitaan sellaiset suureet, jotka parhaiten kuvaavat prosessin tilaa. (19.)



KUVA 51. Säätiöpiirin rakenne ja peruskomponentit (19)

7.1.1 PID-säädin (Proportional-Integral-Derivative)

Teollisuudessa yleisimmin käytetty säädin on rakenteeltaan PID-säädin (kuva 52). Vaikka säädin on rakenteeltaan yksinkertainen, se toimii hyvin myös piireissä, joissa vaikuttaa useita häiriö- ja epävarmuustekijöitä. Sen virittämisen perusperiaatteet ovat melko tunnetut. PID-säätimestä voidaan käyttää useita eri yhdistelmiä kuten P-, PI- ja PD-säätimiä. PID-säätimestä yleisimmin käytetty säädinrakenne onkin PI-säädin, jolla pystytään hallitsemaan tyypillisimmät teollisuusprosessit. (19.)



KUVA 52. PID-säätimen periaatekuva (19)

PID-säädin laskee ohjauksen kolmen eri osan summasta, kun säätimen tulona on erosuure (asetusarvomittaus). Toimilaitteelle menevään signaaliin (ohjaus) summataan tarvittaessa myötäkyläkentä tai bias-termi (nollasta eroava vakiotaso). Säätimen ohjaus koostuu siis seuraavista osista:

- P-osa, suhdetermi
- I-osa, integrointitermi
- D-osa, derivointitermi. (19.)

Vahvistuskerroin K_p on suhdekerroin säätimen ohjauksen ja erosuureen välillä. Vahvistus näkyy erosuureen askelmuutoksessa säätimen ohjauksen perustason arvona. Vahvistusta kasvattamalla nopeutetaan järjestelmän käyttäytymistä. P-säädin tuntee siis erosuureen suuruuden ja etumerkin. (19.)

Integrointiosa käyttää ohjaukseen järjestelmän historiatietoja, siis erosuureen vanhoja arvoja. Sen päätarkoituksena on poistaa jatkuvuustilan virhe, sillä pienikin erosuureen arvo kasvattaa integrointiosan ansiosta säätimen lähtöä. Integrointiaika T_i on aika, jossa I-osa saa aikaan samansuuruisen muutoksen ohjaussuureeseen kuin P-osa askelmaisessa erosuureen muutoksessa. Mitä suurempi integrointiaika on, sitä pienempi on I-osan vaikutus. Pieni integrointiaika aiheuttaa suuren ohjauksen kasvunopeuden. Koska integrointiaika on kaavassa muotoa $1/T_i$, havaitaan, että laittamalla T_i äärettömän suureksi sen vaikutus katoaa ja PI-säädin alkaa muistuttaa P-säädintä. PI-säädin tuntee siis erosuureen suuruuden, etumerkin ja kestoajan. (19.)

Derivointiosa muodostaa ohjauksen erosuureen tai tarkasteltavan säädettävän suureen muutosnopeuden pohjalta. Muutosnopeutta voidaan pitää ennustuksena järjestelmän käyttäytymisestä tulevaisuudessa. Prosessin dynamiikasta johtuen ohjauksen muutokset havaitaan järjestelmän lähdössä vasta pienen ajan kuluttua. Suljetun piirin suorituskyvyn ja vaimennuskyvyn parantamiseksi edellä mainittua voidaan kompensoida käyttämällä ennustamista. Mitä suurempaa derivointiaikaa käytetään, sitä voimakkaampi derivointiosan vaikutus on. Mikäli prosessissa on viivettä, täytyy derivointiaikaa suhtautua varovaisesti. (19.)

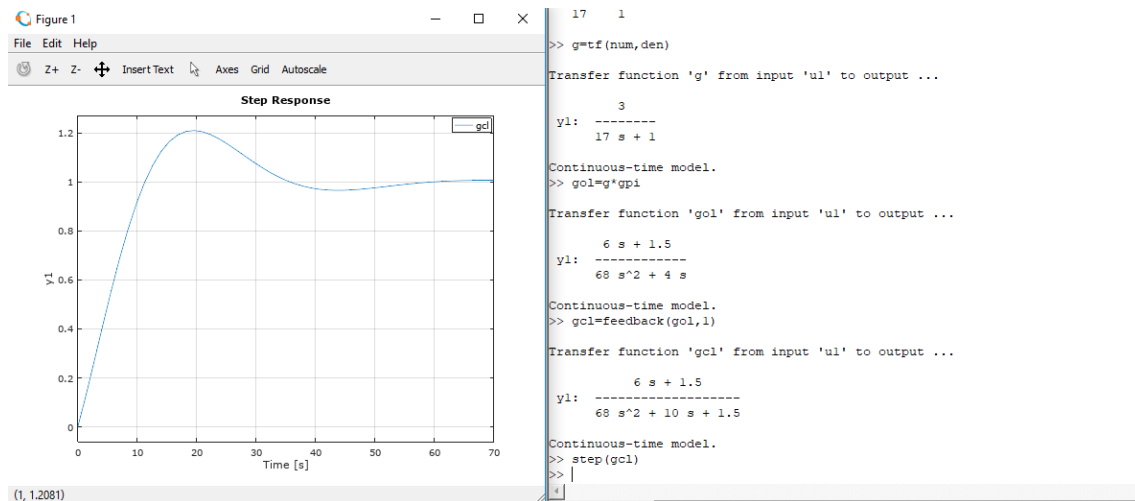
7.1.2 Säättösuunnittelun tavoitteet

Säättösuunnittelun tavoitteet ovat aina tapauskohtaisia. Tavoitteena voi olla hallita joko asetusarvonmuutostilanteet tai kuormitushäiriöiden kompensointitilanteet. Molemmissa tapauksessa on omat viritysmenetelmät sekä kriteerinsä onnistuneelle säätöratkaisulle. Simuloimalla prosessia voidaan varmistaa sen onnistuminen vertaamalla simuloitua vastetta ja prosessikokeesta kerättyä dataa. Simuloimalla voi myös tarkastella prosessin ominaisuuksia. Tällä tavalla voidaan tehdä oikeita säätöratkaisuja tiettyihin prosesseihin ja esimerkiksi valita oikeanlainen säädin. (19.)

Säätöpiirin virittäminen on periaatteessa helppoa, jos tiedetään haluttu säätötavoite, sekä käytössä on prosessia kuvaava malli. Ensimmäinen vaatimus tulee prosessituntemuksen ja kokemuksen kautta, käyttäjältä vaaditaan ymmärrystä säädön tavoitteista ja eri säätimien vaikutuksista osaprosessin muiden säätimien toimintaan. Toinen vaatimus saavutetaan mallintamisella suhteellisen helposti, jos toimilaitteet toimivat oletetulla tavalla eikä piiriin vaikuta kokeen aikana ylimääräisiä häiriöitä eli piiri toimii riittävän rauhallisesti. Jälkimmäisen ongelman kanssa kuluu ajallisesti suuri osa viritystyöstä, sillä prosessiolosuhteiden tulee olla virittämiselle soveltuvat. (19.)

7.2 GNU Octave

GNU Octave on matemaattiseen laskentaan painottunut vapaa ohjelmisto, jota automaatiotekniikan opinnoissa käytetään muun muassa PID-säätimen toiminnan harjoitteluun ja virittämiseen, signaalin käsittelyyn, laskemiseen ja kuvaajien piirtämiseen. Ohjelman avulla luodaan muun muassa PID-säätimen toimintaa kuvaava ohjelma, jolle lasketaan vahvistus, integrointi- ja derivointiajat ja piirretään siitä kuvaaja. GNU Octave muistuttaa hyvin paljon MathWorksin MATLAB-ohjelmistoa, joka on hyvin paljon alalla käytetty ohjelmisto. Suurinta osaa MATLAB-skripteistä pystytään käyttämään myös GNU Octavella. Ohjelmiston käyttö tapahtuu tekstipohjaisen konsolin välityksellä. Kuvassa 53 on kurssilla tehty GNU Octave -harjoitus, jossa on muodostettu ideaalirakenteisen PI-säätimen siirtofunktio.



KUVA 53. Esimerkkiharjoitus GNU Octavessa

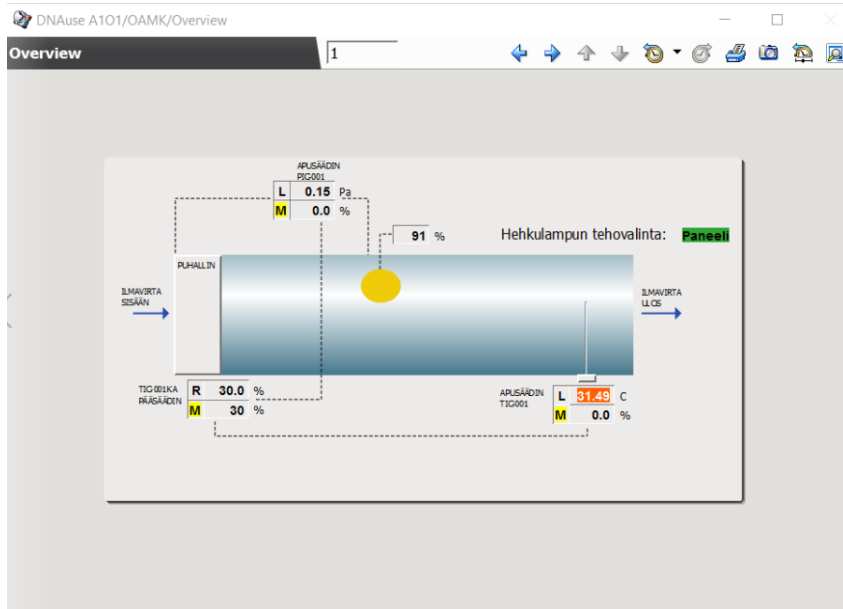
7.3 Säättötekniikan harjoittelu kannettavan Valmet DNA-laitteiston avulla

Säättötekniikan harjoitustöitä tehdään muun muassa Valmet DNA-miniprosessin (kuva 54) avulla. Miniprosessi koostuu Valmet ACN SR1 -prosessitietokoneesta, IPSP-teholähderyksiköstä ja neljästä I/O-kortista: DI8, jossa on kahdeksan digitaalista tuloa, DO8, jossa on kahdeksan digitaalista lähtöä, AI8, jossa on kahdeksan analogista tuloa ja AO4, jossa on neljä analogista lähtöä. Prosessi sisältää myös painonappeja, lampun, tuulettimen ja paine-ero- ja lämpötilanmittaukset.



KUVA 54 Kannettava ValmetDNA-miniprosessi

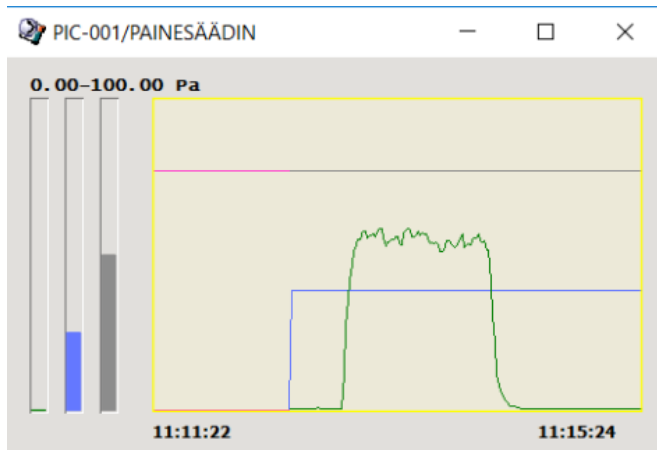
Työssä harjoitellaan säätöpiirien viritystä. Säätimet viritetään yksitellen ja lopuksi testataan kaskadisäätöä, jossa lämpötilan säätö on pääsäätimenä ja painesäädin nopeampana apusäätimenä. Kuvassa 55 on esitetty prosessin operointinäyttö. (20.)



KUVA 55. Prosessin operointinäyttö

Varsinainen tuulettimelle lähtevä ohjaussignaali (0–100 %) lähtee TIC-001KA pääsäätimeltä. Asetetaan aluksi kaikki apusäätimet L/M- ja pääsäädin R/M-tilaan. Ensin tehdään askelvastekokeita (kuva 56), joissa muutetaan pääsäätimen TIC-001KA-säätimen arvoa esimerkiksi 30 %:sta 80 %:iin, ja avataan piiri-ikkunoista trendit, joista voidaan katsoa prosessin mallit eli vahvistus, aikavakio ja viive. (20.) Vahvistus, aikavakio ja viive tarkoittavat seuraavaa:

- prosessin vahvistus: vasteen kokonaismuutoksen suhde ohjauksen muutokseen
- viive eli kuollut aika: se aika, joka kuluu ohjauksen muutoshetkestä siihen hetkeen, jossa vaste alkaa muuttua (eli ohjauksen vaikutus alkaa näkyä)
- aikavakio: se aika, joka kuluu vasteen muutoksen alkuhetkestä siihen hetkeen, jossa se on saavuttanut 63,5 % lopullisesta muutoksestaan (21.)



KUVA 56. Painesäätimen askelkoe

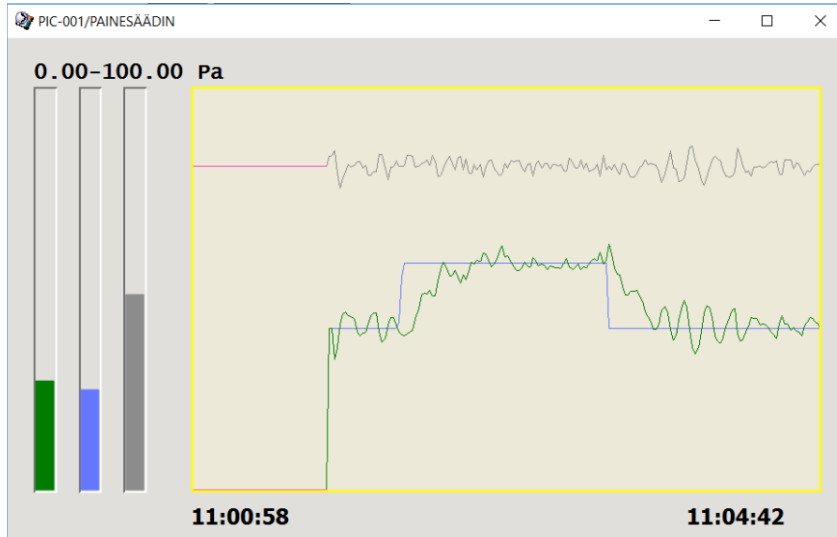
Vahvistuksen, viiveen ja aikavakion avulla pystytään laskemaan PID-säätimen parametrit esimerkiksi Ziegler-Nicholsin menetelmällä, joka näkyy kuvassa 57. Lasketut parametrit syötetään paineensäätimen parametrivalikkoon, joka on kuvassa 58.

	K_p	T_i	T_d
P	$\tau / (KL)$		
PI	$0,9\tau / (KL)$	$3L$	
PID	$1,2\tau / (KL)$	$2L$	$L/2$

KUVA 57. Ziegler-Nicholsin viritys askelvastemenetelmä, ei-integroiva prosessi, ideaalirakenteinen PID-säädin (18)

KUVA 58. Paineensäätimen parameters-ikkuna

Asetetaan seuraavaksi pääsädin ja paineensäätöpiiri automaattitilaan, jolloin automaattinen säätö alkaa tapahtua. Kuvan 59 kuvaajassa on paineen asetusarvo sinisellä ja mittaus vihreällä viivalla. Säädin pyrkii pitämään mittauksen mahdollisimman lähellä asetusarvoa.



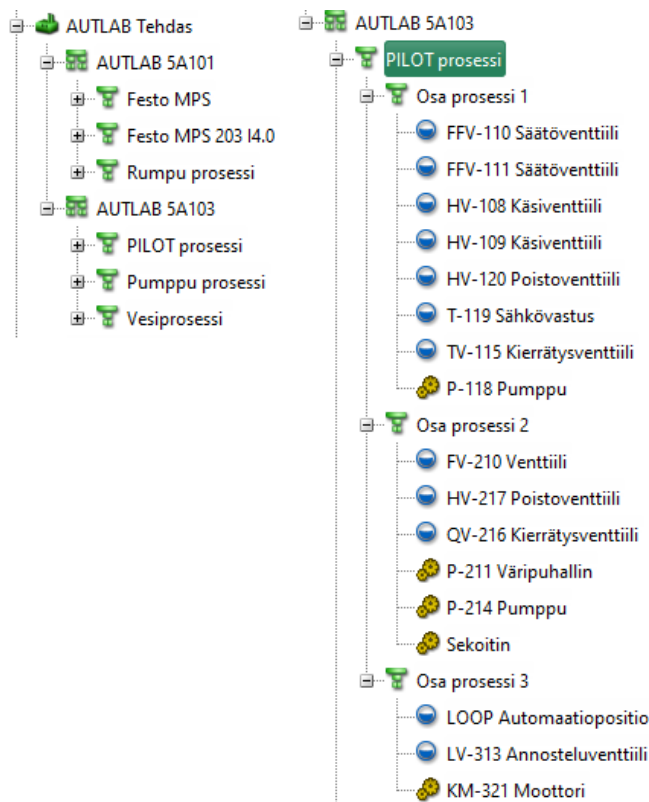
KUVA 59. Viritetty paineensäädin

8 LAITE- JA DOKUMENTAATIOLISTAUKSET ALMA-OHJELMISTOLLA

ALMA on täysin integroitu suunnittelu- ja tiedonhallintajärjestelmä, jonka avulla hallitaan tuotanto- ja palveluprosessien, teknisen tiedon, tapahtumien ja kunnossapidon koko elinkaarta. Vitec ALMA Oy kehittää, toimittaa ja ylläpitää ALMA suunnittelu-, teknisen tiedon, tapahtumien ja kunnossapidon hallintajärjestelmää sekä siihen liittyviä palveluita. (22.)

Hybridilaboratorion automaatiolaitteistolle luodaan laite- ja dokumentaatiolistaukset käyttämällä ALMA-ohjelmistoa, joka mahdollistaa nopean ja yksinkertaisen osaprosessien, osien, komponenttien, automaatiopositiodien sekä aiheeseen liittyvän dokumentoinnin tutkimisen.

Automaatiolaboratorio jaetaan kahteen eri osioon: 5A101 ja 5A103, joiden perusteella laitteistojen jako tehdään ALMAssa. 5A101-osioon kuuluvat Festo MPS, Festo MPS 203 I4.0 ja rumpuprosessi. 5A103-osioon kuuluvat PILOT-, pumppu- ja vesiprosessi. Tässä opinnäytetyössä tehdään laitelistaukset Festo MPS:lle, PILOT-, pumppu- sekä rumpuprosessille. Kuvassa 60 näkyy Automaatiolaboratorion listaushierarkia ja PILOT-prosessin osaprosessien laitteet ja automaatiopositiot.

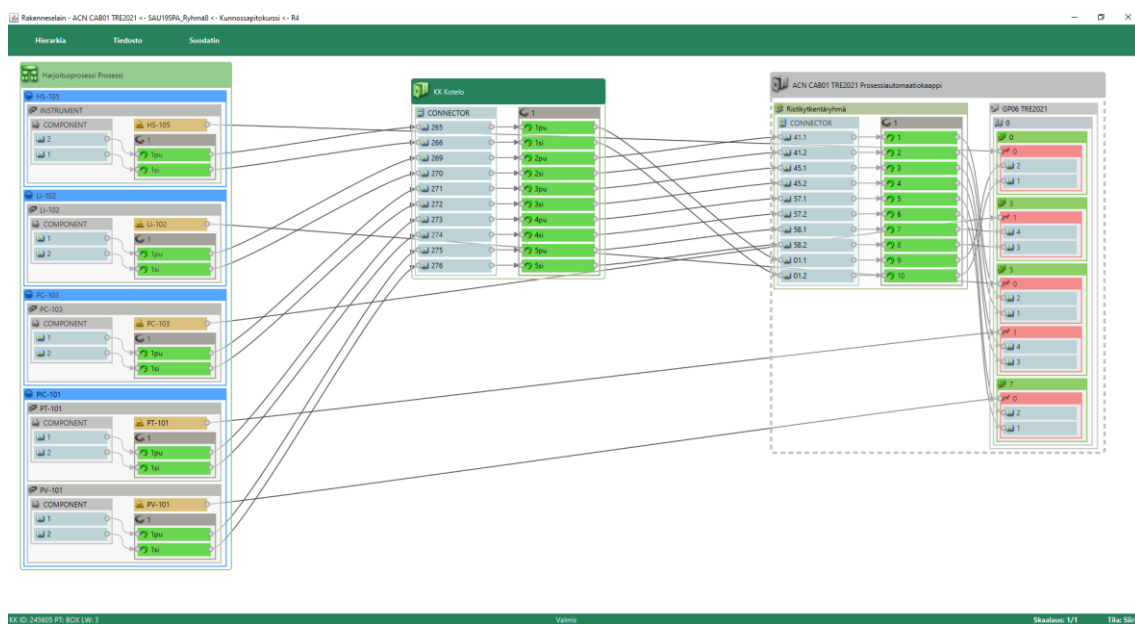


KUVA 60. Automaatilaboratorion laitteiston ALMA-hierarkia ja PILOT-prosessin osaprosessien listaus

Jokaiseen prosessiin linkitetään siihen liittyvää dokumentaatiota, eli muun muassa ohjeita, manuaaleja, sähkökaavioita, kuvia ja teknisiä dokumentteja. Linkitetyt dokumentit löytyvät ALMAssa klikkaamalla haluttua prosessia, ja dokumentit sijaitsevat oikealla ylhäällä olevassa ikkunassa "Dokumenttilinkki"-kohdassa. Kuvassa 61 näkyvät rumpuprosessiin linkitetyt dokumentit. Kuvassa 62 on ALMAssa tehty kytkentäkuva, joka kuvastaa pumppuprosessin ja ohjauskaapin välisiä kytkentöjä, jossa ohjauskaapin kytkennät menevät ensin kenttäkotelolle, ja kenttäkoteloon kytketään itse prosessissa käytetyt toimilaitteet ja anturit.

Perusnäkymä ▾ Aliprosessi: Rumpu			
Aliprosessi Ylempi Dokumenttilinkki			
Rumpu prosessi			
Valittu	Linkki	Lähde/Kohde	Nimi
Rumpu prosessi	←	PCWorx ohjelmisto Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	SafeConf ohje Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	Taajuusmuuttajan käyttö Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	PC_Worx_6_Overview Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	Inverter manual 2 Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	Inverter manual 1 Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	Kosketusnäytön konfigurointi Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	Gateway yksikkö ja profinet tiedonsiirto (1) Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	Project Definition_Safeconf Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	Projektin koko manuaali Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	Omron Safety Curtain Manual Dokumentti	Dokumentti
Rumpu prosessi	←	Gateway TriSafe Dokumentti	Dokumentti
Valittu	Linkki	Lähde/Kohde	Nimi

KUVA 61. Dokumenttien linkitys ALMAssa



KUVA 62. Pumpuprosessin kytkennät, prosessi-kenttäkotelo-ohjauskaappi

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda esittelymateriaalia, ohjeita, toiminnallisia kuvauksia ja videoita automaatiotekniikan kursseista ja laboratorion laitteistoista sekä toteuttaa laitteistolle ALMA-laite- ja dokumentaatiolistaukset. Työ valmistui toukokuun loppupuolella. Työn aikataulu oli melko tiukka, sillä aikaa opinnäytetyön tekemiseen oli noin 2 kuukautta.

Opinnäytetyön tekeminen ja edistyminen sujui mielestäni todella hyvin, ja suurempia ongelmia ei tullut vastaan. Hyvää ajankäyttösuunnitelmaa seuraamalla oli aina tiedossa, mitä kannattaisi milloinkin tehdä. Kaikki kurssit ja laitteistot olivat valmiiksi jo tuttuja, koska olin käyttänyt niitä aiemmin kurssien yhteydessä, mutta silti oli paljon asioita, joita piti todella miettiä ja opetella uudelleen. Joidenkin kurssien sisältö on myös päivittynyt vuosien varrella, joten niissäkin opin uusia asioita. Varsinkin säätötekniikka, PID-säätimien virittäminen sekä Control Engineering -kurssi olivat sellaisia aiheita, joiden sisältöön todella perehdyin. Olen käyttänyt monia logiikoiden ohjelmointiin tarkoitettuja ohjelmistoja erittäin paljon, ja niiden käytön esittely ja esimerkkien teko oli ehkä mukavinta tehdä. Videoita tehdessä meni melko kauan aikaa opetella käyttämään videomuokkausohjelmia, ja saada niillä haluttu lopputulos. Työtä tehdessä opin myös hyvin paljon kirjoittamisesta ja hyvän tekstin rakenteesta sekä tärkeiden asioiden poimimisen lähtömateriaaleista. ALMA-osuutta tehdessä huomasin, kuinka kätevä ja monipuolinen työkalu se on ja minkä takia sitä on järkevä käyttää. Ohjelmiston avulla pystyy tekemään erittäin paljon eri toimintoja, ja sieltä löytää helposti esimerkiksi tärkeät materiaalit opintoja varten.

Kaiken kaikkiaan olen erittäin tyytyväinen työn lopputulokseen ja kulkuun. Työ oli mielenkiintoinen tehdä ja erittäin opettavainen. Eri käsiteltäviä laitteistoja ja ohjelmistoja oli suuri määrä, ja kaikkia tuli käyttää ja kokeilla, jotta niiden toiminta ja käyttö tulee tutuksi ja niistä voisi kirjoittaa materiaalia. Videoista tuli mielestäni erittäin selkeitä ja opettavaisia, ja ne antavat hyvän yleiskuvan käsiteltävistä aiheista.

LÄHTEET

1. Automaatioseura 2018. Automaatio ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Hakupäivä 15.4.2021. https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1380/automaatio_ennen_nyt_ja_tulevaisuudessa_av_artikkelisarja_2018.pdf
2. Kurki, Heikki. Prosessiautomaatio. Hakupäivä 15.4.2021. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/24_Prosessiautomaatio.pdf
3. Opetushallitus. Automaatiojärjestelmä. Hakupäivä 15.4.2021. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/sahkotekniikka_a2_automaatiojarjestelma.html
4. Hagman, Janne 2018. Ohjelmakomponentteihin perustuva ohjelmointitapa logiikkaohjelmointiin Siemens TIA Portal -ohjelmointiympäristössä. Hakupäivä 15.4.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/154389/Hagman_Janne.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. Campanelli, Stefano, Foglia, Pierfrancesco & Cosimo, Antonio Prete 2015. An architecture to integrate IEC 61131-3 systems in an IEC 61499 distributed solution. Computers in Industry. 47-67.
6. Omron 2021. CP1L. Hakupäivä 15.4.2021. <https://industrial.omron.fi/fi/products/cp1l>
7. Eronen, Arto 2013. Festo MPS -laitteiston ohjauksen toteutus Omron CP1L -logiikalla. Hakupäivä 15.4.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/60449/Eronen_Arto.pdf?sequence=1&isAllowed=y
8. Omron 2011. CX-One ja logiikkaohjelmointi. Sisäinen lähde.
9. Tervaskanto, Manne 2016. Teollinen Internet. Oulun ammattikorkeakoulu. Sisäinen lähde.
10. MathWorks 2021. ThingSpeak. Hakupäivä 22.4.2021. <https://se.mathworks.com/help/thing-speak/>
11. ThingSpeak 2021. Channels. Hakupäivä 22.4.2021. <https://thingspeak.com/channels/201543>
12. Siemens 2021. MindSphere. Hakupäivä 22.4.2021. <https://new.siemens.com/fi/fi/tuotteet/teollisuus/mindsphere.html>
13. Inst tools 2021. What is PCS 7? Hakupäivä 25.4.2021. <https://instrumentationtools.com/pcs-7/>
14. Hietanen, Tero 2018. PCS7-konfigurointiprojekti, annosteluprosessi. Oulun ammattikorkeakoulu. Sisäinen lähde.
15. Valmet. MetsoDNA CR short overview. Hakupäivä 27.4.2021. https://my-courses.aalto.fi/pluginfile.php/583544/mod_folder/content/0/Valmet%20DNA%20short%20overview.pdf?forcedownload=1

16. Heikkinen, Timo. Valmet DNA (MetsoDNA) How-to. Hakupäivä 1.5.2021. <https://ti-mohei.net/?p=20opintojaksot/0100TL6031/35howto>
17. Heikkinen, Timo & Kurki, Heikki 2012. PowerDemo käyttö ja työohje. Oulun ammattikorkeakoulu. Sisäinen lähde.
18. Tervaskanto, Manne 2017. Control Engineering. Oulun ammattikorkeakoulu. Sisäinen lähde.
19. Harju, Timo & Marttinen, Arto 2000. Sääntötekniikan koulutusmateriaali. Hakupäivä 10.5.2021. https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/pid_kirja_1-1.pdf
20. Oulun ammattikorkeakoulu, Työohje miniprosessin viritykseen. Sisäinen lähde.
21. Oulu.fi. Prosessitekniikan perusta. Automaatiotekniikka. Hakupäivä 15.5.2021. <https://www.oulu.fi/sites/default/files/content/PYP%20I%202014%20Teema%205.pdf>
22. Vitec ALMA Oy 2021. ALMA. Hakupäivä 15.5.2021. <https://www.vitecsoftware.com/fi/tuote-alue/alma/>