



# Kappaletavara-automaation kenttälaitteiden simulointi osa- na virtuaalista käyttöönottoa

Pauli Suurpää

OPINNÄYTETYÖ  
Kesäkuu 2019

Sähkötekniikka  
Automaatiotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Automaatiotekniikka

SUURPÄÄ, PAULI:

Kappaletavara-automaation kenttälaitteiden simulointi osana virtuaalista käyttöönottoa

Opinnäytetyö 48 sivua  
Kesäkuu 2019

---

Automaatiojärjestelmien digitaalisten mallien hyödyntäminen on suuresti kasvava trendi. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa kenttälaitteiden simulointiin soveltuvia mallipiirejä, joita voitaisiin jatkossa hyödyntää Jomet Oy:n kappaletavara-automaatiojärjestelmien virtuaalisessa käyttöönotossa. Tavoitteena oli tutustua virtuaalisen käyttöönoton periaatteisiin ja erityisesti SIMIT-simulointiohjelmaan, jota voidaan käyttää kenttälaitteiden käyttäytymisen mallintamisessa. Raportissa käsitellään simuloitavaksi tarkoitettuja laitetyppejä sekä niiden mallintamisessa hyödynnettyjä SIMIT:n ominaisuuksia. Raportin lopussa esitellään eri kenttälaitteiden simulointiin luodut mallipiirit. Niiden tarkoituksena on helpottaa uusien simulointimallien rakentamista tulevilla projekteilla.

Työn tavoitteet saavutettiin, kun kaikille käytettäville kenttälaitteille saatiin niiden toimintaa vastaavat simulointipiirit. Rakenteista pyrittiin tekemään selkeitä ja helposti kopioitavia. Varsinkin Siemensin sähkökäyttöjen ohjaukset ovat vaivatonta yhdistettävissä niitä vastaaviin simulointimalleihin. Mallipiirien käyttöä helpottaa erityisesti se, mitä enemmän logiikkaohjelmoinnissa on käytetty samanlaisia ohjaus- ja muuttujarakenteita. Tällöin useiden simulointipiirien luominen helpottuu ja nopeutuu merkittävästi.

Tulevaisuudessa SIMIT-mallipiirejä tullaan käyttämään tulevien simulointiprojektien kenttälaitteiden mallinnuksessa. SIMIT:n käytön lisäksi asiakkaalla tullaan hyödyntämään NX MCD -ohjelmistolla tehtävää 3D-mallinnusta, jolloin yhdessä SIMIT-simuloinnin kanssa saadaan mallinnettua tuotantolaitteiston toiminta kokonaisuudessaan.

---

Avainsanat: virtuaalinen käyttöönotto, kenttälaitte, simulointi, SIMIT

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Automation Engineering

SUURPÄÄ, PAULI:

Simulating Field Devices of Factory Automation as a Part of Virtual Commissioning

Bachelor's thesis 48 pages  
June 2019

---

Utilizing digital modelling of automation systems is a fast growing trend. The purpose of this thesis was to implement simulation templates for field devices, which could be utilized in virtual commissioning of automation systems at Jomet Oy. The goal was to investigate the main principles of virtual commissioning and SIMIT simulation software, which can be used in behaviour modelling of field devices. This report examines the field device types that were to be simulated and also the features of SIMIT that were used in modelling process. At the end of the report all the simulation templates are presented. The templates were created in order to facilitate simulation modelling in future projects.

The goals of this thesis were achieved when all of the field devices got corresponding simulation templates. The structures were designed to be clear and easily propagable. Especially the controls of Siemens drives can be easily connected to their corresponding simulation models. Using simulation templates is remarkably easier when more similar control and variable structures are used in the PLC programs. This way, generating multiple simulation models becomes much easier and faster.

In future, SIMIT templates will be used for modelling the field devices in upcoming simulation projects. As well as using SIMIT, Jomet Oy will begin to utilize NX MCD -software for 3D modeling which combined with SIMIT simulation makes it possible to model the behaviour of the whole production system.

---

Key words: virtual commissioning, field device, simulation, SIMIT

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Tausta ja tarkoitus.....	7
1.2	Siemens .....	7
1.3	Jomet .....	8
2	VIRTUAALINEN MALLINTAMINEN TEOLLISUUDESSA.....	9
2.1	Digitaalinen kaksonen .....	9
2.2	Virtuaalinen käyttöönotto.....	10
3	PAKKAUSKONEIDEN KENTTÄLAITTEET JA MUUTTUVAT PROSESSIARVOT .....	11
3.1	Sähkökäytöt .....	11
3.1.1	PROFIdrive.....	11
3.1.2	Siemensin sähkökäytöt.....	12
3.1.3	Kuljetinrullien moottorihjaukset.....	13
3.2	Sylinterikäytöt.....	14
3.3	Prosessiarvot ja muu simuloitava IO-data.....	14
4	TARVITTAVAT OHJELMISTOT JA NIIDEN KÄYTTÖTAVAT .....	15
4.1	TIA Portal .....	15
4.2	PLCSIM Advanced.....	16
4.3	SIMIT Simulation platform.....	17
4.4	NX Mechatronics Concept Designer .....	17
4.5	Simulointityypit .....	18
4.5.1	Hardware in the loop .....	18
4.5.2	Software in the loop.....	19
5	SIMIT -OHJELMAN OMINAISUUDET .....	20
5.1	Liitettävät ohjelmistot ja kommunikointi (Couplings).....	20
5.1.1	PLCSIM Advanced -liityntä.....	21
5.1.2	MCD -liityntä.....	22
5.1.3	Tiedonvaihto ohjelmien välillä.....	24
5.2	Ohjelmakaaviot ja -komponentit.....	26
5.3	Simulointi .....	28
5.4	Makrot.....	29
5.5	Mallipiirit (Templates).....	30
6	KENTTÄLAITTEIDEN SIMULOINTI SIMITISSÄ.....	34
6.1	Siemensin sähkökäyttöjen simulointi.....	34
6.2	Kuljetinrullien moottorihjaukset.....	36
6.3	Sylinterikäytöt.....	39

6.4 Muuttuvien prosessiarvojen simulointi.....	41
6.5 Muu simuloitava IO-data .....	42
6.6 Simulointi ilman MCD-mallinnusta.....	44
6.7 Ohjauspaneeli .....	44
7 YHTEENVETO .....	46
LÄHTEET.....	47

**LYHENTEET JA TERMIT**

API	Application Programming Interface, ohjelmointirajapinta
HiL	Hardware-in-the-Loop, osittain fyysistä laitteistoa käytävä simulointiympäristö
IO	Input/Output, tulo- ja lähtösignaalit
MCD	Mechatronics Concept Designer, 3D-mallinnuksessa käytettävä simulointiohjelma
NASA	National Aeronautics and Space Administration, Yhdysvaltain avaruushallinto
OPC	OLE for Process Control, avoin tiedonsiirtostandardi
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
PZD	Prosessidata-alue
SiL	Software-in-the-Loop, täysin ohjelmallisesti toteutettu simulointiympäristö
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol, tiedonsiirrossa käytettävä tietoliikenneverkko-protokollien yhdistelmä

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta ja tarkoitus

Uusien tuotantolaitteistojen suunnittelussa ja käyttöönotossa halutaan enemmässä määrin hyödyntää järjestelmän virtuaalista mallinnusta. Simuloidessa tuotantoa virtuaalisen mallin avulla, on mahdollista karsia pois perustavanlaatuiset ongelmat laitteiden ohjauksen ja mekaniikan suhteen jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena rakentaa Siemens Osakeyhtiön asiakasyritykselle Jomet Oy:lle mallipiirejä, jotka olisivat helpottamassa heidän kehittamiensä pakkauskoneiden simulointia. Mallipiirien avulla voitaisiin hyödyntää kenttälaitteiden simulointiin tehtyjä valmiita käyttäytymismalleja, kun halutaan tehdä virtuaalista käyttöönottoa suunnitellulle pakkauskoneelle.

Simuloitavissa pakkauskoneissa on käytössä Siemensin ohjelmistot ja ohjaukset. Suurin osa järjestelmän laitteistosta on Siemensin tekniikkaa, mutta mukana on myös muiden valmistajien laitteita. Kaikissa simuloitavissa järjestelmissä käytetään PROFINET-väyliä.

Kenttälaitteiden käyttäytymisen mallinnukseen on valittu käytettäväksi Siemensin SIMIT -simulointiohjelmisto, jonka toiminta on yhdistettävissä myös muihin simulointi- ja ohjelmointityökaluihin. Tavoitteena on luoda SIMIT:iin helppokäyttöiset mallipiirit, jotka nopeuttavat tulevien simulointiprojektien rakentamista ja ovat tarpeen mukaan hyödynnettävissä monenkokoisten järjestelmien simuloinnissa.

## 1.2 Siemens

Siemens Osakeyhtiö on saksalaisen Siemens AG:n omistama tytäryhtiö, jonka toiminta keskittyy sähköistyksen, automaation ja digitalisaation osa-alueille. Siemensin tuotteet ja ratkaisut liittyvät muun muassa teollisuuteen, terveyden-

huoltoon, energiantuotantoon sekä älykkäisiin kiinteistöihin ja infrastruktuuriin. Yhtiöllä on Suomen lisäksi toimintaa Virossa, Latviassa ja Liettuassa. Vuonna 2016 sen liikevaihto oli noin 214 miljoonaa euroa, työllistäen 527 ihmistä. (Siemens Suomessa ja Baltiassa 2019)

### **1.3 Jomet**

Jomet Oy on pakkaus- ja materiaalinkäsittelykoneiden suunnitteluun ja valmistukseen keskittynyt yritys. Alun perin Jokioisista kotoisin oleva yritys on valmistanut lavaajia ja pakkauskoneita jo 1970-luvun loppupuolelta asti. Koneiden suurimmat käyttökohteet ovat erityisesti valmistavan teollisuuden ja jakelulogiistiikan parissa (Pakkauskoneet 2019). Nykyisin uusien koneiden suunnittelu sekä valmistus tehdään Forssassa. Vuonna 2016 Jometin liikevaihto oli noin 8,7 miljoonaa euroa ja se työllisti 54 ihmistä (Asiakastieto 2019).

## 2 VIRTUAALINEN MALLINTAMINEN TEOLLISUUDESSA

Teollisen tuotannon virtuaalista mallintamista ja suunnittelua on hyödynnetty kasvavissa määrin jo 1980-luvulta asti. Se on kehittynyt viimeisen 40 vuoden aikana yksittäisten kappaleiden 2D-suunnittelusta 2010-luvulla tehtävään kokonaisten tuotantolinjastojen ja tehtaiden simulointiin. (Liu et.al. 2012) Yleisesti tuotannon digitalisoinnilla pyritään löytämään keinoja tuotannon nopeuttamiseen ja tehostamiseen niin, että samalla sekä tuottavuus että tuotteiden laatu saadaan pidettyä mahdollisimman korkealla tasolla. Lisäksi yritysten halu vastata paremmin asiakkaan tarpeisiin, vaatii panostuksia tuotannon joustavuuteen ja tehokkuuteen. Yksilölliset tarpeet vaativat tuotannolta muuntautumiskykyä, johon pyritään löytämään ratkaisuja digitalisoinnin avulla. Monet länsieurooppalaiset yritykset ovatkin aikeissa panostaa enemmän kotimaisten tehtaidensa digitalisointiin, kuin esimerkiksi tuotannon siirtämiseen halvempiin maihin. Tällöin tuotanto saadaan pidettyä mahdollisimman lähellä asiakkaita, jolloin voidaan vastata kysyntään nopeammin ja pienemmillä logistisilla kustannuksilla. (Geissbauer et.al. 2017)

### 2.1 Digitaalinen kaksonen

Digitaalisen kaksosen määritelmä käsittää jonkin todellisen järjestelmän mallintamisen myös virtuaalisesti, jolloin nämä toistensa vastineet ovat samanaikaisesti käytössä ja linkitettyinä toisiinsa. Vuonna 2002 Michiganin yliopiston PLM-kurssilla Michael Grieves esitteli ensimmäisenä nimityksen digitaalisesta kaksosesta, jossa todellisesta järjestelmästä olisi olemassa myös virtuaalinen vastakappale. Ideassa todellisen järjestelmän dataa siirretään virtuaaliseen malliin, jossa prosessoidaan kaikkea siitä saatua informaatiota ja käytetään sitä hyödyksi todellisen järjestelmän parantamisessa. (Grieves&Vickers 2016)

Tosin jo ennen tätä Yhdysvaltain avaruushallinto (NASA) on hyödyntänyt vastaavanlaista konseptia tekemissään avaruuskapseleiden tutkimuksissa. NASA hyödynsi mallintamista muun muassa Apollo 13 -avaruuslennon yhteydessä,

kun lennonaikaisen onnettomuuden jälkeen tutkittiin keinoja saada lento turvalisesti takaisin maan pinnalle. (The Economist 2019)

## 2.2 Virtuaalinen käyttöönotto

Yhtenä teollisuuden digitalisoinnin osa-alueena toimii virtuaalinen käyttöönotto. Siinä mekaniikka-, sähkö- ja automaatio suunnittelijat toimivat yhdessä, kun suunnitellusta tuotantolinjastosta tai -laitteesta luodaan sen toimintaa vastaava virtuaalinen malli. Tämän mallin avulla voidaan simuloida suunniteltua tuotantoa oikeaa logiikkaohjausta vasten. Verrattuna perinteiseen käyttöönottoon, sen etuna on mahdollisuus tuotantolaitteiston mekaanisten rajoitusten sekä suunniteltujen ohjausten ja käyttöliittymien testaukseen jo ennen kuin varsinaista fyysistä laitteistoa on saatavilla. Tämä auttaa karsimaan tekniset suunnitteluvirheet pois mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. (Tarvas 2018)

Virtuaalinen käyttöönotto säästää aikaa ja rahaa varsinaiselta käyttöönotolta, kun parhaassa tapauksessa voidaan siirtyä suoraan virtuaalisen mallin ohjauksesta todellisen tuotantolaitteiston ohjaamiseen ilman suurempia mekaanisia tai ohjelmallisia muutoksia järjestelmään (Liu et.al. 2012). Lisäksi simuloinnin avulla voidaan kouluttaa operaattoreita järjestelmän ohjausten käyttöön, jolloin mahdollistetaan turvalliset harjoitteluolosuhteet jo ennen kuin fyysistä järjestelmää on asennettuna. Tulevaisuudessa on myös mahdollista testata etukäteen laitteistoon tehtävien mekaanisten sekä ohjelmallisten muutostöiden vaikutukset, kun kyseisestä järjestelmästä on jo valmis simulointimalli tehtynä.

### **3 PAKKAUSKONEIDEN KENTTÄLAITTEET JA MUUTTUVAT PROSESSIARVOT**

#### **3.1 Sähkökäytöt**

Pakkaus-koneissa olevia Siemensin sähkökäyttöjä ohjataan käyttämällä erilaisia PROFIdrive-telegrammeja, jotka määrittävät käytettävän kommunikointityypin logiikan ja sähkökäyttöjen välillä. Siemensin laitteiden lisäksi on käytössä muiden valmistajien tarjoamia PROFINET-moottoreita sekä IO-ohjattuja moottoreita, joiden ohjaus tapahtuu yksittäisillä biteillä erikseen määritettyjen muistialueiden kautta.

##### **3.1.1 PROFIdrive**

PROFIBUS ja PROFINET -väyliin perustuvissa sähkökäytöissä on käytettävissä PROFIdrive -väyläprofiilin mukaiset ohjaukset. PROFIdrive on PROFIBUS ja PROFINET Internationalin (PI) kehittämä modulaarinen profiili, jota on kehitetty jo 1990-luvun alusta asti. Alun perin PROFIBUS DP -väyliin tarkoitettu kommunikointitapa sai vuonna 2005 tukensa myös Ethernet-pohjaiselle PROFINET-väylälle sekä turvaohjelmille. (Basic Slide Set PROFIdrive 2019)

Kommunikointi ohjelmoitavalta logiikalta sähkökäytöille ja enkoodereille perustuu PROFIdrive-telegrammeihin. Niihin on määritelty standardoidut rakenteet eri käyttötarkoituksiin, riippuen ohjattavasta laitteistokokoonpanosta ja ohjaukseen tarvittavista ominaisuuksista. Telegram-rakenteet koostuvat prosessidata-alueista (PZD), jotka voivat olla sisällöltään ohjaus- ja tilasanoja, asetus- ja ak-tuaaliarvoja tai muita tarvittavia parametreja. Näiden erilaisista yhdistelmistä on määritetty valmiita telegram-tyyppejä, jotka ovat käytettävissä niihin sopivilla laitteistokokoonpanoilla.

### 3.1.2 Siemensin sähkökäytöt

Simuloitavissa pakkauskoneissa on tällä hetkellä käytössä kahdenlaisia Siemensin sähkökäyttöjä: S120 -servo-ohjauksia, joissa on käytössä telegram 105, sekä G120-taajuusmuuttajia, joita ohjataan telegrammilla 352. Telegram 352:lla toteutetuissa ohjauksissa ei kuitenkaan ole käytössä kaikkia siihen sisältyviä lisätoiminnallisuuksia, jolloin simuloitava perustoiminnallisuus vastaa telegram 1:n rakennetta. Taulukoista 1 ja 2 on nähtävissä näiden telegrammien 1 ja 105 datarakenteet ja kuvaukset.

TAULUKKO 1. PLC:n lähettämä data telegrammeilla 1 ja 105 (SINAMICS S120/S150 List Manual 2014)

	Telegram 1	Telegram 105	Kuvaus
PZD1	STW1	STW1	Ohjaussana 1 (16bit)
PZD2	NSOLL_A	NSOLL_B	Nopeuden asetusarvo (16/32bit)
PZD3			
PZD4		STW2	Ohjaussana 2 (16bit)
PZD5		MOMRED	Momenttirajoitus (16bit)
PZD6		G1_STW	Enkooderin asetussana 1 (16bit)
PZD7		XERR	Paikkatiedon poikkeama (32bit)
PZD8			
PZD9		KPC	Paikkasäädön vahvistuskerroin (32bit)
PZD10			

TAULUKKO 2. PLC:n vastaanottama data telegrammeilla 1 ja 105 (SINAMICS S120/S150 List Manual 2014)

	Telegram 1	Telegram 105	Kuvaus
PZD1	ZSW1	ZSW1	Tilasana 1 (16bit)
PZD2	NIST_A	NIST_B	Nopeusarvo (16/32bit)
PZD3			
PZD4		ZSW2	Tilasana 2 (16bit)
PZD5		MELDW	Viestisana (16bit)
PZD6		G1_ZSW	Enkooderin statussana (16bit)
PZD7		G1_XIST1	Enkooderin aktuaali paikkatieto 1 (32bit)
PZD8			
PZD9		G1_XIST2	Enkooderin aktuaali paikkatieto 2 (32bit)
PZD10			

Lisäksi käytössä oleviin Siemensin sähkökäyttöihin on liitetty turvatoimintoja, jotka on toteutettu Safety 30 -turvatelegrammilla. Tämä lisätelegram on erikseen määriteltävissä jokaiselle ohjaukselle normaalin ohjaustelegrammin lisäksi. Sen rakenne koostuu yhdestä asetussanasta (S\_STW1) logiikalta sähkökäytölle sekä yhdestä tilasanasta (S\_ZSW1) takaisin logiikan suuntaan. (Sinamics S120/S150 List Manual 2014)

### 3.1.3 Kuljetinrullien moottoriohjaukset

Osa käytetyistä moottoreista toimii yksinkertaisemmalla ohjauksella. Tällaisia ovat kuljetinrullien pyörittämiseen käytetyt PROFINET -rumpumoottorit (ConveyLinx). Niiden ohjauksessa ei käytetä telegrammeja, vaan ohjaus tehdään niiden valmistajan määrittämien ohjauslohkojen ja IO-datarakenteen mukaisesti. Data-alueiden kautta moottorille voidaan määrittää kaikki ohjauksen perustoiminnot, kuten ohjaustieto, suunnanvaihtotieto sekä nopeuden asetusarvo (KUVA 1).

conveyLinxUnit1OUT	*CLXAiPLCmini...	%Q39.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
LeftMDRasDIO	Struct	%Q39.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Use the MDR as a digital IO
RightMDRasDIO	Struct	%Q41.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Use the MDR as a digital IO
SensorPortsDIO	Struct	%Q43.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	The Sensor ports PIN2 as digital outputs
LeftMDRControl	Struct	%Q45.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Run/Stop and Direction control of the Left MDR
MDR_Direction	Bool	%Q45.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0 = Configured direction / 1 = opposite to configured direction
Reserved[1]	Bool	%Q45.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[2]	Bool	%Q45.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[3]	Bool	%Q45.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[4]	Bool	%Q45.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[5]	Bool	%Q45.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[6]	Bool	%Q45.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[7]	Bool	%Q45.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Run_MDR	Bool	%Q46.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MDR Run = 1 / MDR Stop = 0
Reserved[9]	Bool	%Q46.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[10]	Bool	%Q46.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[11]	Bool	%Q46.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[12]	Bool	%Q46.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[13]	Bool	%Q46.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[14]	Bool	%Q46.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reserved[15]	Bool	%Q46.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RightMDRControl	Struct	%Q47.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Run/Stop and Direction control of the Right MDR
LeftMDRSpeed	Int	%QW49		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	The speed of the MDR in m/s * 1000. The allowed values depe...
RightMDRSpeed	Int	%QW51		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	The speed of the MDR in m/s * 1000. The allowed values depe...
ClearMDRError	Word	%QW53		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Writing '1' to this field clears the MDR error. There needs to b...

#### KUVA 1. Rumpumoottorin ohjauksen datarakenne

Lisäksi tulevaisuudessa ollaan mahdollisesti käyttämässä IO-ohjattuja ramppi-moottoreita, joissa moottorin kolminopeuksinen ohjaus toteutetaan yksinkertaisesti kahden bittimuuttujan avulla. Ohjausten toimintarakenne on nähtävissä taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Ramppimoottorin ohjaus

2. ohjausbitti	1. ohjausbitti	Moottorin ohjaus
0	0	Seis
0	1	Nopeus 1
1	0	Nopeus 2
1	1	Nopeus 3

### 3.2 Sylinterikäytöt

Simuloitavissa laitteistoissa on mukana releohjauksella toimivia yksitoimisia ja kaksitoimisia sylinterikäyttöjä. Yksitoimiseen sylinteriin ohjataan releohjauksella paine, joka liikuttaa sitä yhteen suuntaan. Kun sylinterin ohjaus poistetaan, sylinteri palautuu takaisin alkuasentoonsa jousen tai ulkoisen paineen avulla. Kaksitoimista sylinteriä ohjataan releohjauksilla molempiin liikesuuntiin, jolloin automaattista palautusta ei ole. (Hulkkonen 2006)

### 3.3 Prosessiarvot ja muu simuloitava IO-data

Pakkauskoneissa on käytössä liimapannu, jolla lämmitetään pahvipakkausten liimaamiseen tarvittavaa liimaa. Liimapannu vaatii logiikalta ohjauksen lämmityksen aloittamiseksi, jonka jälkeen se lämpenee käyttölämpötilaansa reiluun 150 °C:seen. Pitkän ajan käyttämättä ollut lämmin liimapannu voidaan automaattisesti ohjata logiikalta alennuslämpötilaan, joka on n. 100 °C.

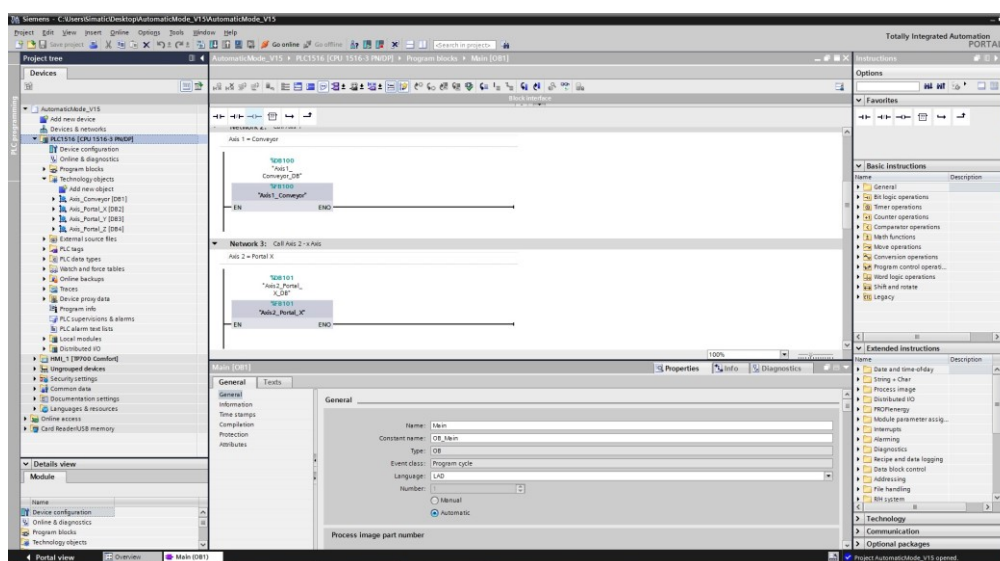
Lisäksi pakkauskoneen paineilmajärjestelmän painetasoa sekä kaikkea logiikalta lähtevää ja sinne tulevaa IO-dataa tulisi tarvittaessa pystyä manipuloimaan simuloinnin kautta. Tämä mahdollistaisi käyttäjälle esimerkiksi simulointimallista saatavien anturitietojen ja turvapiirien toiminnan simuloinnin.

## 4 TARVITTAVAT OHJELMISTOT JA NIIDEN KÄYTTÖTAVAT

Siemens tarjoaa tuotantolinjojen ja -laitteiden ohjelmointiin, mallintamiseen ja simulointiin useita työkaluja. Tämän opinnäytetyön sisältö liittyy kuitenkin kappaletavara-automaatiojärjestelmissä yleisesti käytettyyn ohjelmistokokonaisuuteen, joka mahdollistaa koko järjestelmän kattavan simulointimallin luomisen virtuaalista käyttöönottoa varten. Tähän kokoonpanoon kuuluvat ohjelmointiin ja laitteistokonfigurointiin käytettävä TIA Portal, logiikkojen simulointiin käytettävä PLCSIM Advanced, käyttöliittymien simulointiin tarkoitettu TIA Portal WinCC Simulation, kenttälaitteiden käyttäytymismallien simulointiin käytettävä SIMIT sekä järjestelmän kinemaattisen 3D-mallin simuloinnissa käytettävä NX Mechatronics Concept Designer (NX MCD).

### 4.1 TIA Portal

TIA Portal on Siemensin ohjelmisto, jolla voidaan ohjelmoida logiikoita, suunnitella käyttöliittymiä sekä konfiguroida sähkökäyttöjä. Lisäksi ohjelmistolla voidaan tehdä liikkeenohjaussovelluksia, turvaohjelmointia sekä määrittää automaatiolaitteiden väliset väyliälynnät. (TIA Portal – Teollisuusautomaation ohjelmistoalusta 2019) Yleisnäkymä ohjelmiston käyttöliittymästä on nähtävissä kuvassa 2.

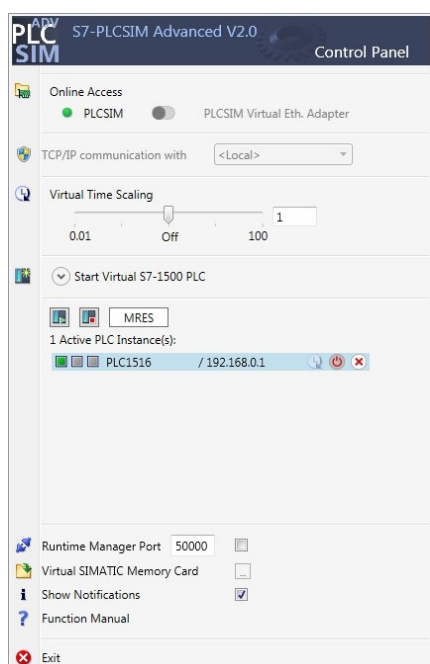


KUVA 2. TIA Portalin käyttöliittymä

Simuloinnin kannalta on oleellista, millainen laitteistokonfiguraatio TIA Portalissa on määritelty, sillä simulointiohjelmien tulee vastata käyttäytymisellään näitä laitteita. Ohjaukset tulee olla tehty käyttäen Siemensin S7-1500- tai ET200SP-sarjojen logiikoita, jotta laitteistokonfiguraatio sekä ohjelmat ovat suoraan liitettävissä tässä opinnäytetyössä käytössä oleviin simulointiohjelmiin.

## 4.2 PLCSIM Advanced

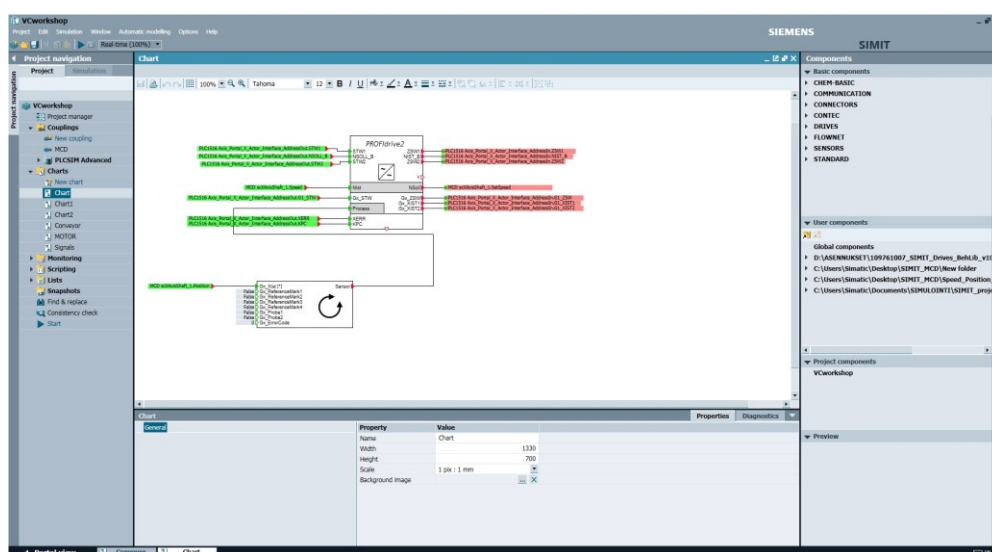
PLCSIM Advanced soveltuu S7-1500 ja ET200SP -ohjelmoitavien logiikoiden toiminnallisuuden simulointiin ilman tarvetta vastaavalle fyysiselle laitteistolle. PLCSIM Advancedilla simuloitavaan logiikkaan voidaan ladata ohjelmat ja laitekonfiguraatio suoraan TIA Portal -projektista, jolloin ne tallentuvat ohjelmamuistissa olevalle virtuaaliselle muistikortille. Tällöin virtuaalisen logiikan käynnistys on myöhemmin mahdollista ilman uutta ohjelman latausta, niin kuin oikeallakin logiikalla. PLCSIM Advancedilla voidaan simuloida myös useita logiikka-instansseja samanaikaisesti. Logiikkaohjelmien ja liikkeenohjauksen simuloinnin lisäksi se mahdollistaa laitteiden välisen TCP/IP-kommunikoinnin, kuten OPC UA- ja S7 -kommunikoinnit. Lisäksi se mahdollistaa simuloinnin yhdistämisen API-rajapinnan kautta muihin simulointiohjelmiin. Kuvassa 3 on nähtävissä PLCSIM Advancedin käyttöliittymä. (Simatic S7-PLCSIM Advanced. 2019)



KUVA 3. PLCSIM Advanced -käyttöliittymä

### 4.3 SIMIT Simulation platform

SIMIT mahdollistaa kenttälaitteiden, signaalien ja prosessiarvojen käyttäytymisen simuloinnin reaaliaikaisesti muiden simulointiohjelmien kanssa synkronoituina. SIMIT:iin voidaan yhdistää sekä todellisia että simuloituja Siemensin logiikoita ja prosessinohjausjärjestelmiä. Lisäksi siihen on liitettävissä useita muita simulointiohjelmiä sekä laitteita erilaisten kommunikointitapojen avulla, kuten Shared memory-, OPC DA- ja OPC UA -kommunikoinneilla. Yleisnäkymä SIMIT:n käyttöliittymästä on nähtävissä kuvassa 4. (SIMIT Simulation Platform 2018)

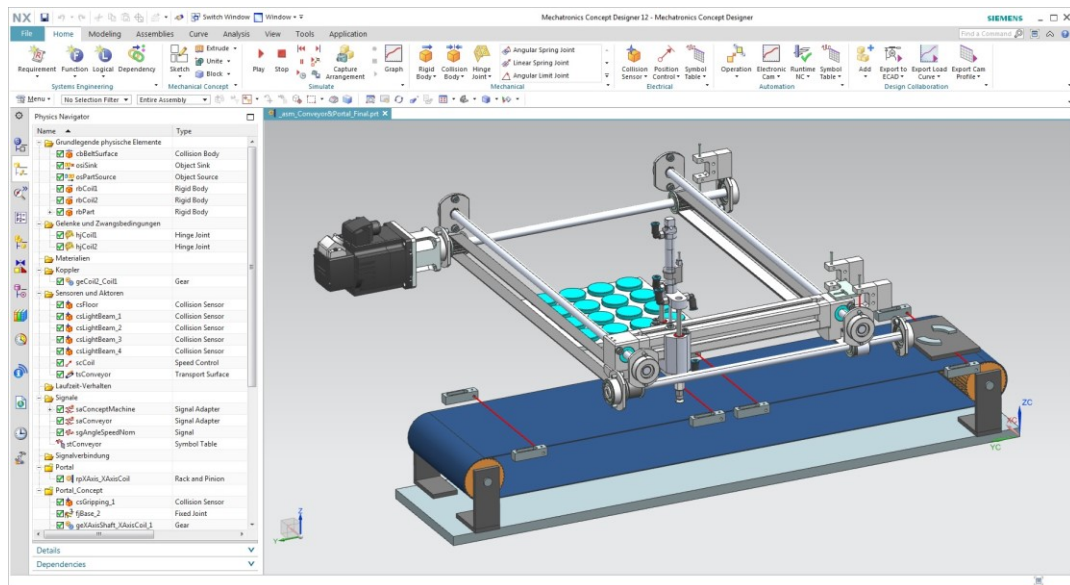


KUVA 4. SIMIT-simulointiohjelmisto

### 4.4 NX Mechatronics Concept Designer

NX on Siemens PLM:n täysiverinen 3D-suunnitteluohjelma, joka soveltuu muun muassa teollisuuden mekaniikkasuunnittelu-, tuotekehitys- ja 3D-mallinnuskäyttöön. Siihen on lisäksi saatavilla Mechatronics Concept Designer (MCD) -lisäsovellus, jolla voidaan määrittää tehdyille 3D-malleille fysikaaliset ominaisuudet sekä kinematiikka. Tällöin 3D-mallinnuksiin voidaan määrittää kaikki logiikkaohjaukseen liitetyt laitteistot kuten anturit, ohjatut servoakselit, kuljettimet ja muut toimilaitteet. Lisäksi ohjelman mahdollistaessa tuotannon materiaalivirtojen simuloimisen, sillä voidaan testata logiikkaohjausten tehokkuutta tuotantonopeuteen verraten. (Mechatronics Concept Designer 2010)

NX MCD:llä tehtyyn kinematiikkamalliin on myös liitettävissä muita simulointiohjelmiä, kuten SIMIT, Matlab Simulink ja PLCSIM Advanced. Sitä voidaan käyttää mallintamaan suunniteltuja tai jo olemassa olevia laitteistoja pienistä tuotantokoneista kokonaisiin tehtaisiin. Yleisnäkymä ohjelman käyttöliittymästä on nähtävissä kuvasta 5. (Mechatronics Concept Designer 2014)

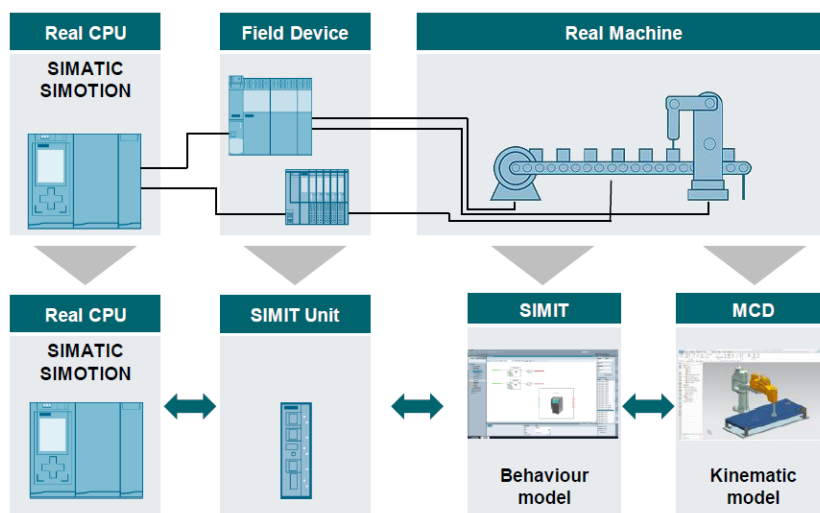


KUVA 5. NX Mechatronics Concept Designer

## 4.5 Simulointityypit

### 4.5.1 Hardware in the loop

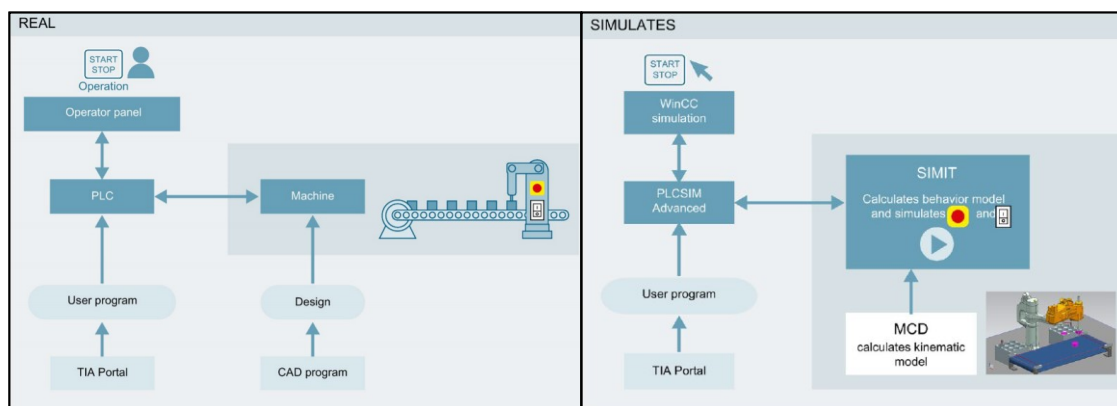
Järjestelmän simulointi on mahdollista toteuttaa käyttäen simuloidun prosessin ja kenttälaitteiden ohjauksessa oikeaa ohjelmoitavaa logiikkaa. Tätä simulointitapaa kutsutaan Hardware in the loop (HiL) -simuloinniksi. Vastaavanlainen simulointi on mahdollista, kun Siemensin logiikan ja SIMIT:in ohella käytetään SIMIT Unit:ia. Se yhdistää todellisen logiikan ja PC:n simulointiohjelmistot simuloiden näin vain väylässä olevia kenttälaitteita ja prosessia. Tätä simulointitapaa havainnollistaa kuvan 6 vertailu todellisen ja simuloinnissa käytettävän laitteiston välillä. (SIMATIC/SIMOTION virtual commissioning with "Hardware in the Loop" 2018)



KUVA 6. Tuotantojärjestelmän simulointikokoonpano käytettäessä oikeaa loogiikkaa (SIMATIC/SIMOTION virtual commissioning with "Hardware in the Loop" 2018)

#### 4.5.2 Software in the loop

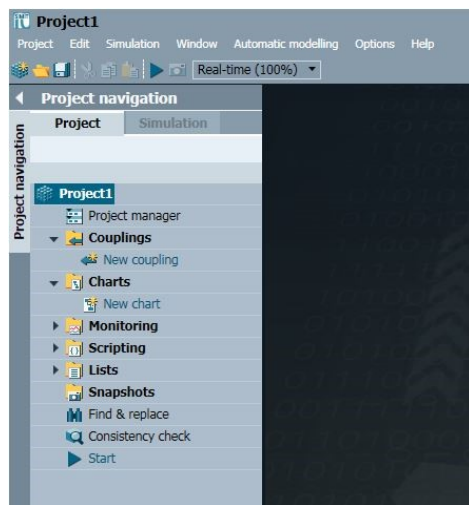
Tässä opinnäytetyössä hyödynnettiin kuitenkin simulointitapaa, jossa järjestelmää ja sen ohjauksia simuloidaan kokonaisuudessaan simulointiohjelmilla. Tätä simulointitapaa kutsutaan Software in the loop (SiL) -simuloinniksi. Tällöin todellisia laitteita ei ole ollenkaan mukana, vaan järjestelmää mallinnetaan täysin ohjelmallisesti (Software-in-the-Loop 2018). Tätä konseptia havainnollistaa kuvasta 7 nähtävä vertailu todellisen laitteiston ja Siemensin simulointiohjelmien välillä.



KUVA 7. Todellinen laitteisto verrattuna kokonaan virtuaaliseen malliin (SIMATIC Machine Simulator Virtual commissioning of machines 2018)

## 5 SIMIT -OHJELMAN OMINAISUUDET

Opinnäytetyössä rakennettavien kenttälaitteiden simulointimallien tekemiseen käytettiin SIMIT -simulointiohjelmistoa, jonka yleisnäkymään kuuluu vasemmalla sijaitseva projektipuurakenne (KUVA 8). Sen kautta voidaan esimerkiksi luoda uusia liityntöjä (Couplings) muihin ohjelmistoihin ja laitteisiin, luoda simuloitavia ohjelmallisuuksia ohjelmakaavioihin (Charts) sekä käyttää simuloinnin monitorointiominaisuuksia (Monitoring) kuten trendejä ja aktivoitavia ohjelmaviestejä.



KUVA 8. Ohjelman projektipuurakenne

### 5.1 Liitettävät ohjelmistot ja kommunikointi (Couplings)

SIMIT tukee toiminnoissaan useita eri liitännätapoja. Siihen on yhdistettävissä simuloituja sekä fyysisiä Siemensin logiikoita ja prosessiasemia. Lisäksi voidaan määrittää kommunikointia muihin järjestelmiin tai simulointiohjelmiin OPC-, MCD- ja Shared Memory -liityntöjen kautta. Uuden liitynnän määrittämisen voi aloittaa projektipuun kautta, jolloin avautuu kuvan 9 kaltainen valintaikkuna. Valinnan jälkeen valitulle liityntätyypille voidaan määrittää kaikki sen käytössä tarvittavat parametrit ja siirrettävät signaalit.

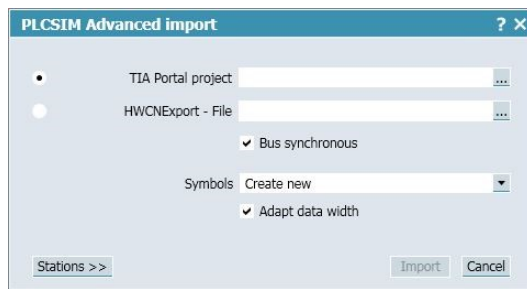


KUVA 9. Liityntätyyppin valinta

### 5.1.1 PLCSIM Advanced -liityntä

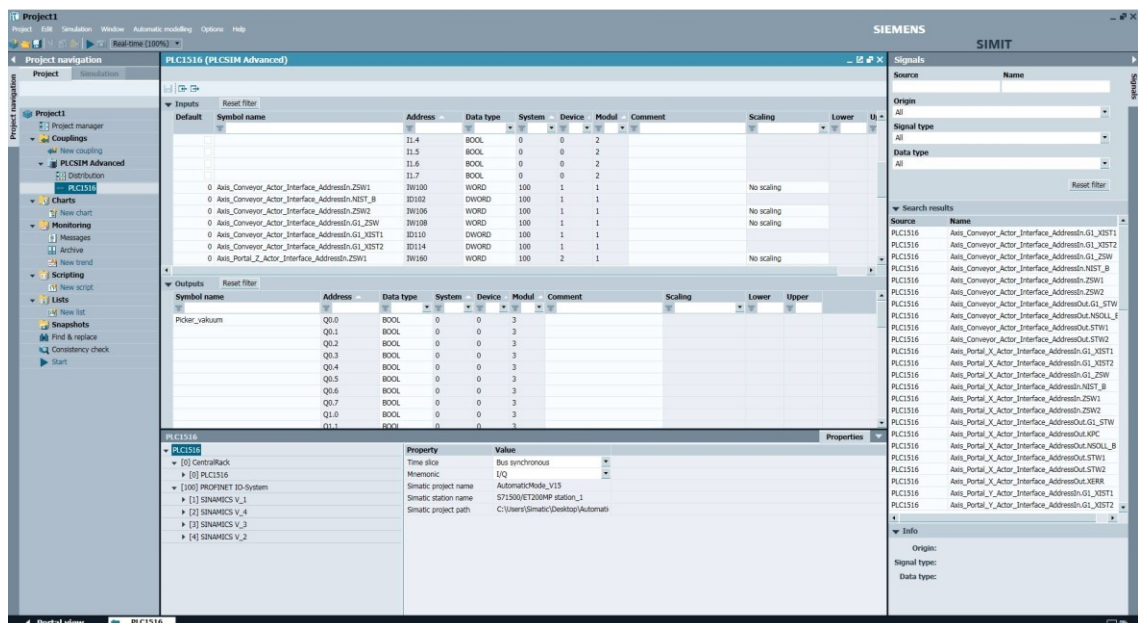
Tässä työssä käytettiin Siemensin S7-1500 -sarjan ohjelmoitavia logiikoita, joiden simulointi suoritettiin PLCSIM Advanced -simulointiohjelmalla. Tämän vuoksi logiikkaohjausten määrittely simulointiohjelmaan voitiin tehdä TIA Portal -projektia käyttämällä.

Kun PLCSIM Advanced -liityntä on valittu käytettäväksi, niin avautuu ikkuna jonka kautta voidaan ladata käytettävän TIA Portal -projektin laitekonfiguraatio käyttäen kyseistä projektia (KUVA 10). Toinen vaihtoehto on tuoda TIA Portal -projektista laitekonfiguraatio XML-tiedostoon SIMIT-ohjelman mukana tulleella HWCNExport -työkalulla. Sillä luodulla konfiguraatitiedostolla voidaan myös määrittää laitekonfiguraatio PLCSIM Advanced -liityntää varten. Tämä on mahdollista esimerkiksi silloin, jos TIA Portalia ei ole asennettu samalle PC:lle, kuin millä järjestelmän simulointi suoritetaan. Uuden liitynnän luontiin käytettävässä ikkunassa voidaan myös määrittää uusien muuttujasymboleiden lisäksi liitettävät asetukset sekä *Bus synchronous* -asetus, jonka merkitystä käsitellään myöhemmin kappaleessa 5.1.3.



KUVA 10. PLCSIM Advanced -laitekonfiguraation tuonti SIMIT:iin

SIMIT:iin lisätty laitekonfiguraatio sisältää projektissa käytetyn logiikan IO-rajapinnan sekä kaikki siihen liitetyt muuttujanimet (KUVA 11). SIMIT mahdollistaa muuttujanimien muokkaamisen simulointiprojektissa, mutta uusien IO-pisteiden tuonti vaatii aina muutetun TIA Portal -projektin uudelleenlisäämisen. Tämä vaaditaan, koska PLCSIM Advanced -liityntä vaatii toimiakseen TIA Portal -projektia vastaavan laitekonfiguraation, jossa kaikki IO-alueet on määritetty jollekin laitteistolle.

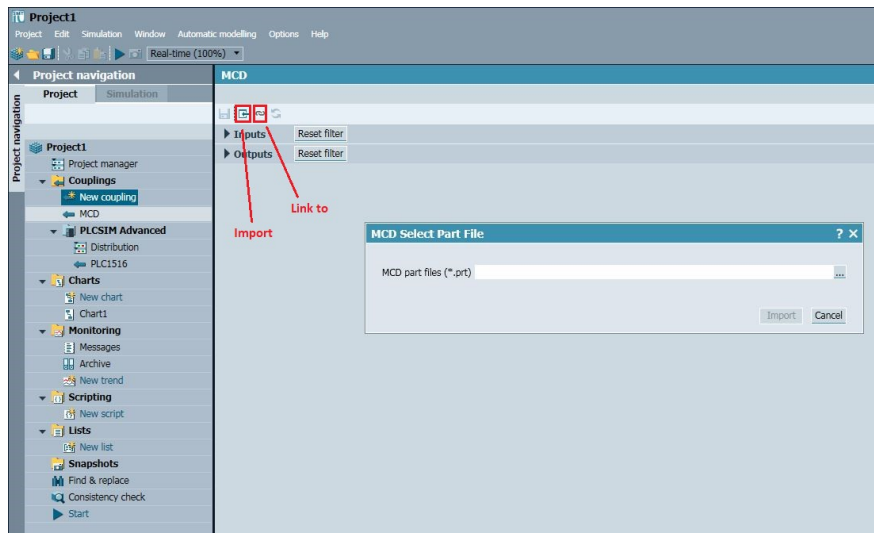


KUVA 11. PLCSIM Advanced -liitynnälle määritetty IO-rajapinta

### 5.1.2 MCD -liityntä

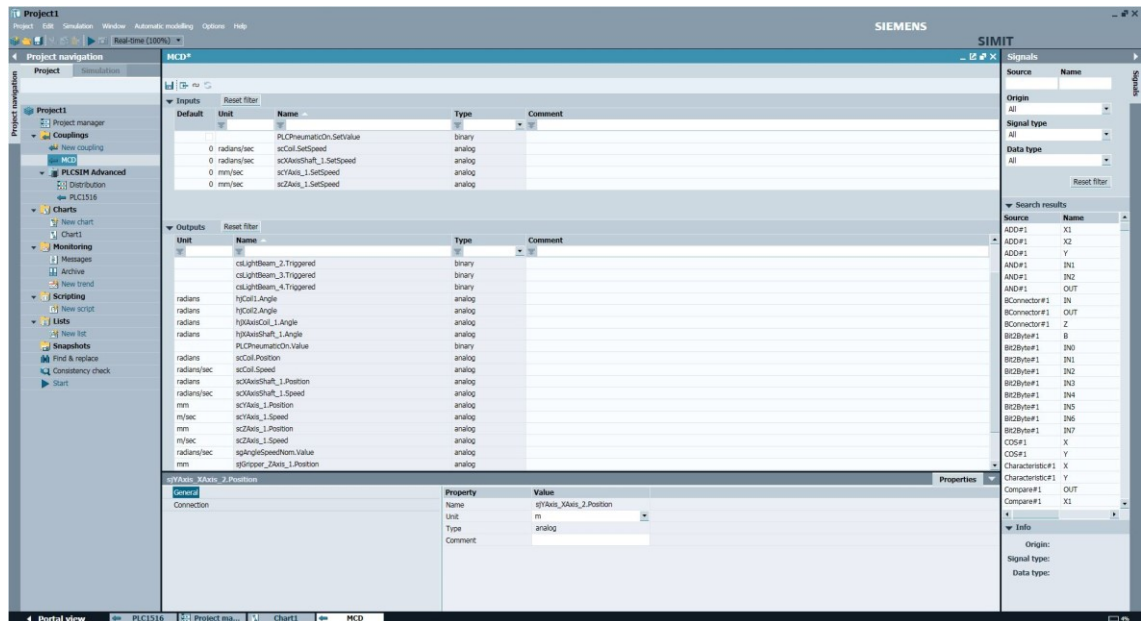
Kappaletavara-automaatiojärjestelmän simuloinnissa on myös oleellisena osana NX MCD -ohjelmistolla luotava kinemaattinen 3D-malli. Se voidaan tuoda logiikkakonfiguraation tavoin suoraan käytettävällä projekti-tiedostolla. Kun oh-

jelmassa lisätään MCD-liityntää muuttujineen, niin sen tuonti on kaksi vaihtoehtoa. Sen sisältämä konfiguraatio on joko tuotavissa kokonaisuudessaan projektiin (Import) tai se voidaan vain linkittää käytettävästä projektitiedostosta (Link to). Jos MCD-projekti linkitetään SIMIT:iin, niin silloin mahdollistetaan MCD-projektin muokkaus myös jälkikäteen. Tämä edellyttää kuitenkin, että projektin tiedostosijainti PC:llä pysyy ennallaan. Kuvasta 12 on nähtävissä eri yhdistämismahdollisuudet ja projektin lisäykseen käytetty ikkuna.



KUVA 12. MCD-projektin yhdistäminen

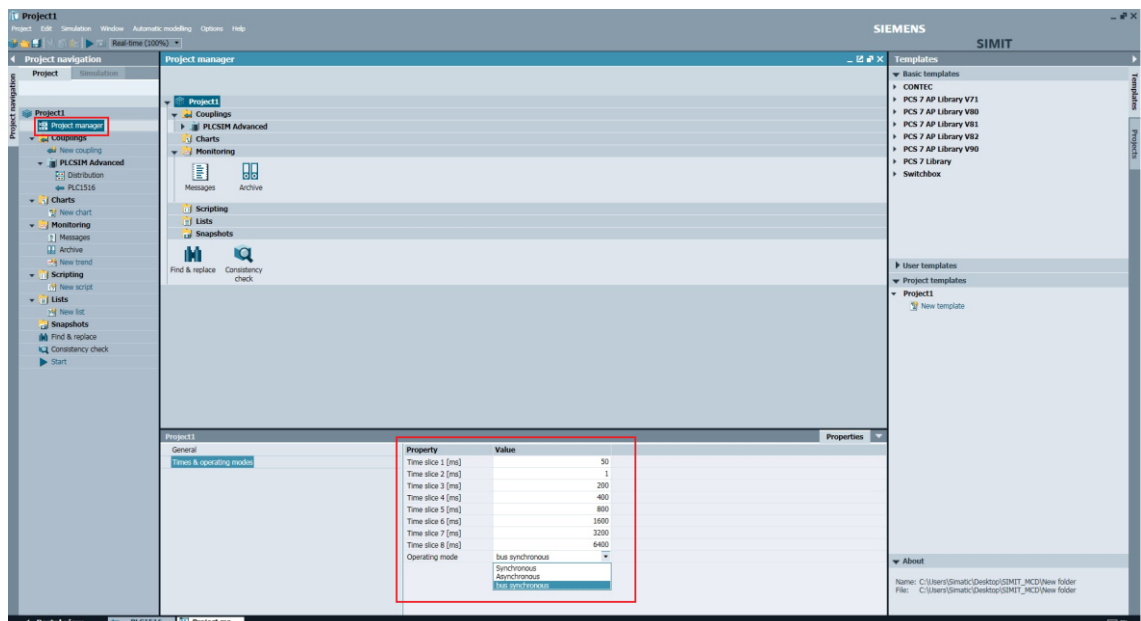
Lisäystä MCD-projektista saadaan SIMIT:iin kaikki 3D-mallin liikkeisiin ja signaaleihin liittyvät muuttujat. Näiden muuttujien yksiköt voidaan tarpeen mukaan muuttaa vastaamaan SIMIT-ohjelman toiminnallisuuksia ja ohjauksia. Kuva valmiista MCD-liitynnästä on nähtävissä kuvassa 13.



KUVA 13. MCD-projektista haetut muuttujat

### 5.1.3 Tiedonvaihto ohjelmien välillä

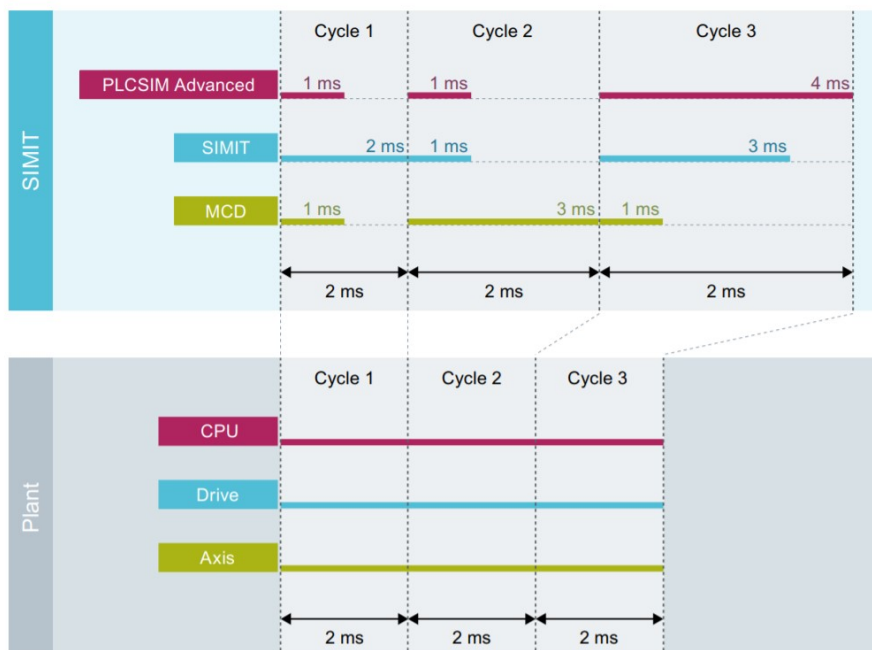
Jotta simulointimalli vastaisi mahdollisimman tarkasti todellista tuotantoprosessia, simulointiohjelmistojen suoritus tulee olla samanaikaista. SIMIT:n kautta voidaan määrittää eri liityntöjen välisen tiedonvaihdon tyyppi (Operating Mode) ja ohjelman suoritus sykli (Time slice). Tämä onnistuu SIMIT:n Project manager -ikkunan kautta (KUVA 14).



KUVA 14. Project manager -ikkuna

Time slice -määrittelyllä valitaan simuloinnin suoritus aika. Päivitettäviä suorituskiikkejä voidaan tehdä useampia, jolloin ohjelmakokonaisuuksia on mahdollista määrittää suoritettavaksi eri aikaväleihin. Oletuksena SIMIT asettaa kaikki simulointipiirit päivittymään Time slice 2 -määrittelyn mukaisesti.

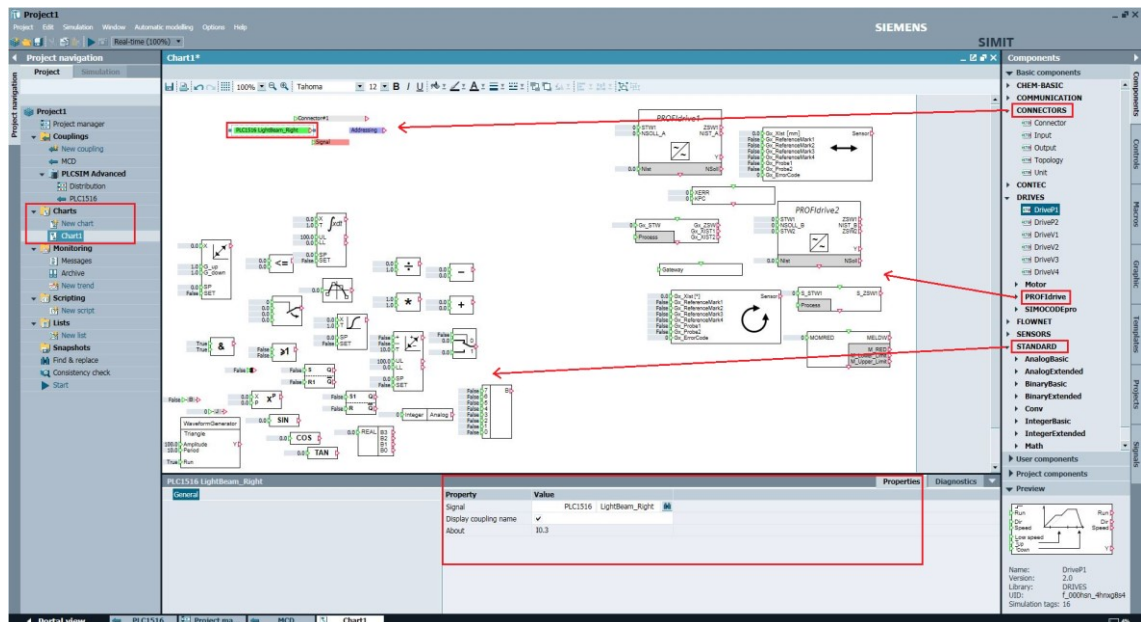
Projektille määritettävä *Asynchronous* -tiedonvaihto jaksoittaa muuttujien päivittämisen aina määritetyin väliajoin kun taas *Synchronous* -tiedonvaihto päivittää muuttujat vasta, kun kaikkien ohjelmien ja liityntöjen laskentaoperaatiot ovat valmiit. Tässä työssä käytettiin kuitenkin *Bus synchronous* -tiedonvaihtotapaa, sillä se synkronoi vaihdettavan datan simulointiohjelmien välillä PROFINET-väyläsyklin mukaisesti. Tällöin time slice -valinta tulee olla TIA Portalissa määritetyn PROFINET-väylän suorituskiikkejä mukainen, jolloin simuloitusta tuotantoprosessista saadaan ajallisesti mahdollisimman todennäköinen (Kuva 15). SIMIT voi tarpeen tullen hidastaa simuloinnin suoritusta, jotta kaikki ohjelmat ehtivät suorittaa toimintonsa keskenään aikataulussa. Lopulliseen simulointinopeuteen vaikuttaa tällöin käytettävän PC:n laskentateho sekä simulointimallin koko. (SIMIT Simulation Platform 2018)



KUVA 15. Simulointiohjelmistojen välinen väyläsynkronointi SIMIT:ssä (SIMIT Simulation Platform 2018)

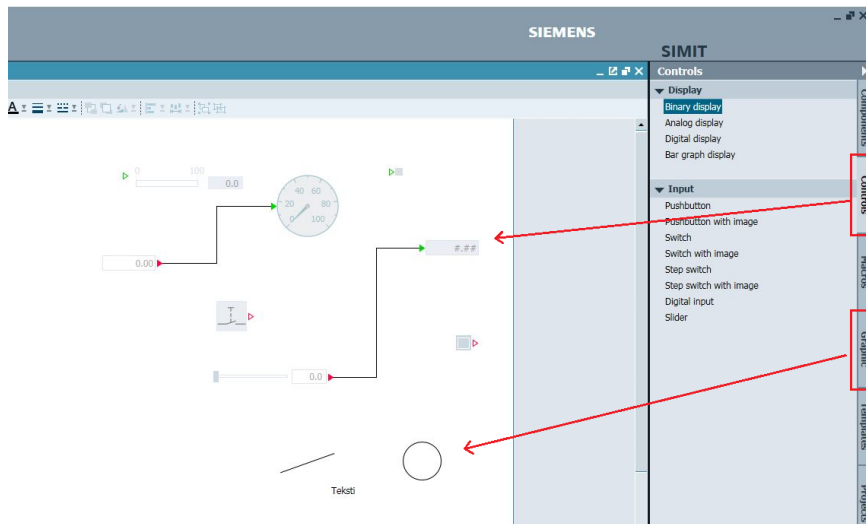
## 5.2 Ohjelmakaaviot ja -komponentit

Simuloinnissa tehtävät toiminnallisuudet ovat määritettävissä Chart -ohjelmakaavioihin. SIMIT:n omasta komponenttikirjastosta löytyy paljon erilaisia lohkoja, jotka soveltuvat muun muassa laskentaoperaatioihin sekä sähkökäyttöjen toiminnallisuuksien määrittämiseen (KUVA 16). Kirjastosta löytyy esimerkiksi valmiita funktioita signaalien käsittelyyn, datatyyppien muunnoksiin ja erilaisen matemaattisten laskukaavojen hyödyntämiseen. Komponentit ovat suoraan raahattavissa avoinna olevalle Chart-ohjelmakaaviolle, jossa kaikki niiden sisältämät parametrit voidaan määrittää ruudun alareunassa olevassa Properties-ikkunassa.



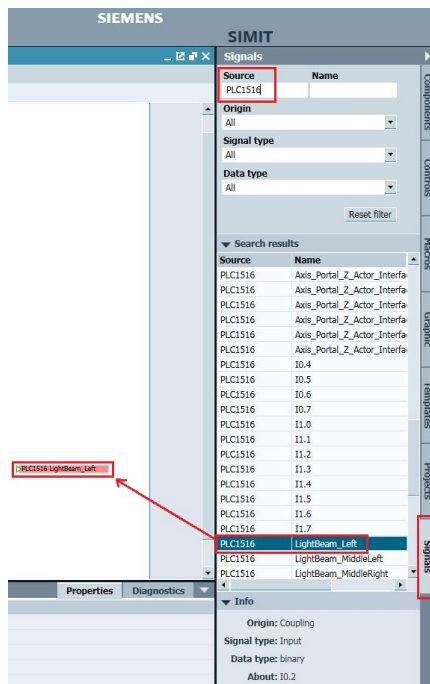
KUVA 16. Chart -ohjelmakaavio ja SIMIT -komponenttikirjastot

Lisäksi SIMIT-kirjaston Controls-välilehdeltä löytyy käsin suoritettaviin ohjauksiin soveltuvia komponentteja sekä signaalien visualisointiin käytettäviä mittareita ja numeerisia ikkunoita (KUVA 17). Käytettävissä on myös erilaisia teksti- ja piirtotyökaluja, jotka löytyvät Graphic -välilehdeltä.



KUVA 17. Esimerkkejä Controls- ja Graphic -välilehdiltä saatavista komponenteista

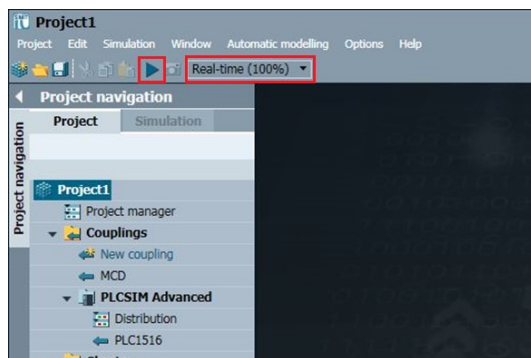
Kaikki liityntöjen sisältämät signaalit ovat haettavissa oikean reunan Signals-valikon kautta, jolloin ne saadaan liitettyä suoraan oikeilla tiedoilla Chart-kaavioon. Signaalivalikoista voidaan esimerkiksi hakea halutun logiikan signaaleja yläreunan hakutoimintoa apuna käyttäen. Tämän jälkeen signaalit ovat hiiressä raahattavissa ohjelmakaavioon painamalla yhtäaikaaisesti näppäimistön Shift-painiketta (KUVA 18).



KUVA 18. Signaalien hakeminen sivuvalikon kautta

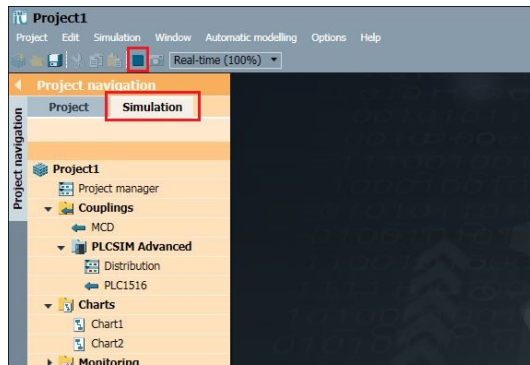
### 5.3 Simulointi

Valmiiden simulointipiirien simulointi voidaan aloittaa klikkaamalla hiirellä yläreunan sinisestä kolmiosta. Sitä ennen on kuitenkin valittavissa halutaanko simuloida todellisella vai hidastetulla nopeudella. Simulointia on mahdollista hidastaa esimerkiksi 50 %:iin todellisesta nopeudesta, jolloin on helpompi tutkia nopeiden simulointitapahtumien muutoksia. Simulointiin liittyvät kuvakkeet ovat nähtävissä kuvasta 19.



KUVA 19. Simuloinnin käynnistäminen

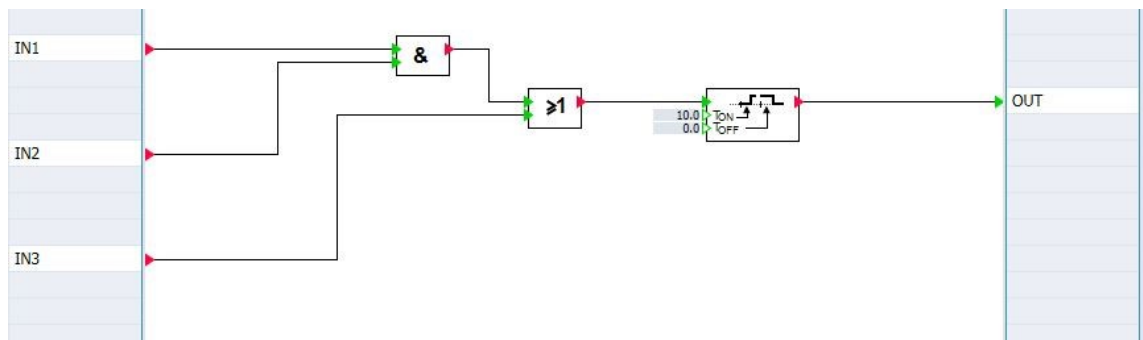
Käynnissä oleva simulointitila on nähtävissä ikkunan oranssiksi muuttuneesta taustaväristä. Tällöin projektipuu on avautunut Simulation -välilehdelle, jonka kautta ei ole enää mahdollista muokata simuloitavia piirejä. Project-välilehden kautta on mahdollista palata muokkaustilaan, mutta lähtökohtaisesti kaikki siellä tehtävät muutokset vaativat kuitenkin simuloinnin uudelleenkäynnistämisen. SIMIT-simuloinnin käynnistäminen avaa myös taustalle PLCSIM Advanced -simuloinnin logiikalle. Tällöin kertaalleen simuloitavalle logiikalle ladatut ohjelmat käynnistyvät aina automaattisesti, kun simulointi käynnistetään SIMIT:ssä. Lisäksi jos simulointiprojektiin on määritetty MCD-liityntä, niin sen simulointi avautuu myös automaattisesti SIMIT-simuloinnin käynnistyessä. Simulointi on mahdollista pysäyttää yläreunan sinistä neliötä painamalla (KUVA 20)



KUVA 20. Käynnissä olevan simuloinnin pysäyttäminen

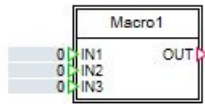
## 5.4 Makrot

Simulointipiireistä voidaan luoda valmiita makro-rakenteita samankaltaisten ohjelmien tekemisen helpottamiseksi. Makro-lohkoille määritetään simuloitavien ohjelmapiirien lisäksi kaikki siihen tulevat ja siitä lähtevät signaalit sopivilla nimillä (KUVA 21).



KUVA 21. Makro-ohjelma

Luodun lohkon toiminnallisuus on aina samanlainen, eikä se ole yksilöllisesti muokattavissa. Jos myöhemmin ohjelmassa halutaan määrittää jotain parametreja makrojen sisällä oleville lohkoille, niin ne tulee silloin olla määritettävissä lohkon tulosignaaleissa. Kuvassa 21 näkyvän makro-ohjelman muodostama lohkotyyppi on nähtävissä kuvasta 22. Makro-lohkoja voidaan helposti käyttää useita kertoja ohjelmassa, jolloin saadaan yksinkertaistettua ohjelmapiirien näkyvää rakennetta.



KUVA 22. Makro-rakenteen muodostama ohjelmalohko

## 5.5 Mallipiirit (Templates)

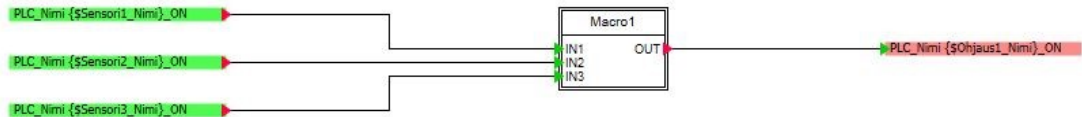
Luoduista ohjelmakaavioista on mahdollista tehdä valmiita template-mallipiirejä, joiden avulla voidaan helposti luoda useita samankaltaisia ohjelmakaavioita pienillä muuttujien ja parametrien muutoksilla. Muuttujien ja parametrien määrittämisessä käytetään apuna niihin määritettäviä *placeholder*-kohtia, jotka korvataan todellisilla arvoilla tai nimityksillä kun uutta piiriä luodaan projektiin. Placeholderin avulla voidaan korvata joko kokonaisia muuttujien nimiä tai vain osittaisia kohtia nimestä. Kuvasta 23 on nähtävissä yhdelle signaalille määritettävät nimitykset, joissa logiikan nimi on korvattu kokonaan ja muuttujan nimestä on korvattavana ainoastaan alkuosa.

Property	Value
Signal	PLC_Nimi {s} {\$Sensor1_Nimi}_ON {s}
Display coupling name	<input checked="" type="checkbox"/>

Korvataan kokonaan (pointing to PLC\_Nimi)
 Aktiivinen (pointing to {s})
 Vain osa nimestä korvataan (pointing to {\$Sensor1\_Nimi})
 Ei aktiivinen (pointing to {s})

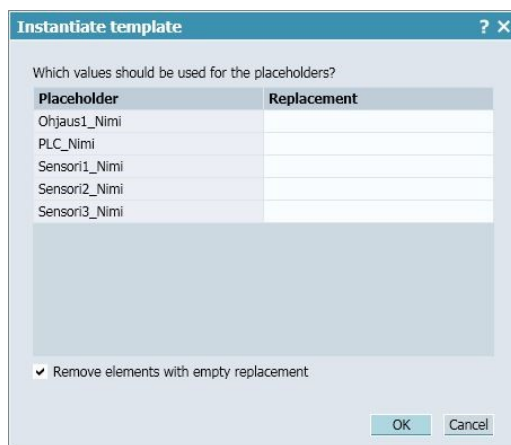
KUVA 23. Muuttujan määrittäminen template-mallipiiriin

Vastaavalla tavalla voidaan määrittää kaikkien signaalien tiedot mallipiirille, jolloin puuttuvat kohdat täytetään oikeilla nimityksillä vasta piiriä lisättäessä. Kuvasta 24 on nähtävissä aikaisemmalle makro-piirille luotu template-mallipiiri, johon kaikki signaalit on määritelty käyttäen jälkeinpäin täytettäviä kohtia.



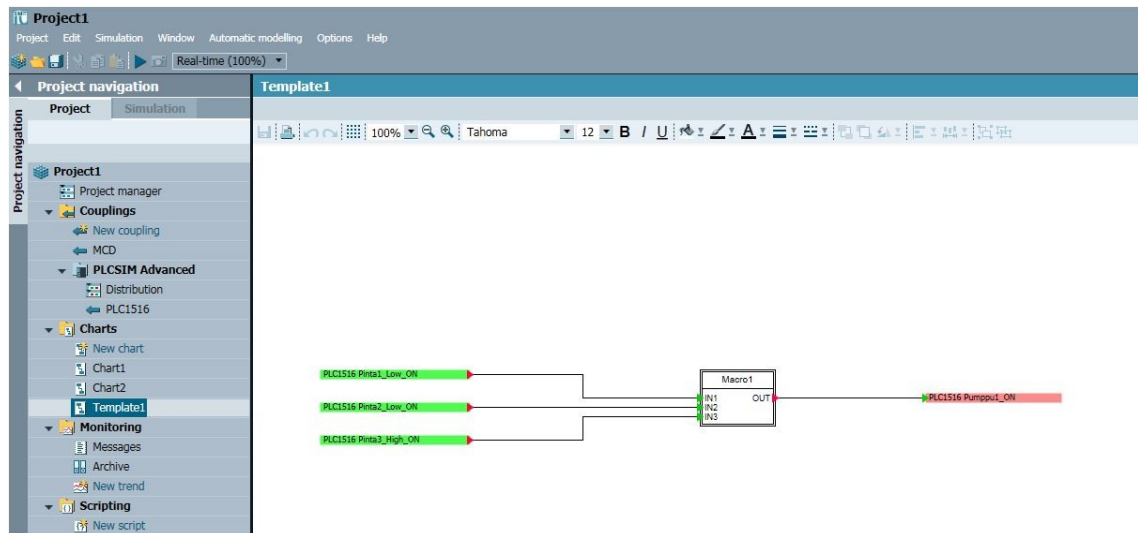
KUVA 24. Template-mallipiiri

Valmiiksi luotua mallipiiriä voidaan hyödyntää raahaamalla se suoraan template-kirjastosta projektipuuhun Charts-kansion kohdalle. Tällöin SIMIT kysyy kuvan 25 kaltaisella näkymällä muuttujien puuttuviin kohtiin täytettäviä tietoja. Jos samaa nimitystä on käytetty piirissä useammin kuin kerran (esim. PLC\_Nimi), niin tämä kysytään ainoastaan yhdessä kohtaa, vaikka lisäys tapahtuukin kaikkiin nimeä vastaaviin kohtiin piirin sisällä. Halutessaan osan kohdista voi jättää täyttämättä, jolloin riippuen siitä onko ”Remove elements with empty replacement” -valinta aktiivisena, kyseiset muuttujat jätetään tyhjiksi tai poistetaan kokonaan piiristä.



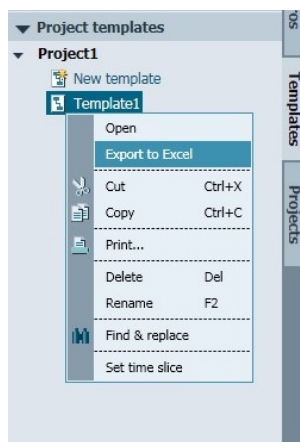
KUVA 25. Puuttuvien kohtien täydentäminen template-mallipiirejä käytettäessä

Kun kaikki pyydyt kohdat on täydennetty, niin SIMIT luo valmiin piirin Charts-kansiorakenteen alle. Tällöin muuttujanimet ovat korvautuneet annetuilla nimityksillä, jolloin linkitykset oikeisiin signaaleihin ovat valmiiksi muodostettuina (KUVA 26).



KUVA 26. Template-mallipiirin avulla muodostettu valmis ohjelmakaavio

Samanlaisia piirejä voidaan luoda useita kerralla käyttämällä apuna Excel -ohjelmistoa. Aikaisemmin luodusta template-mallipiiristä voidaan ladata Exceliin sopiva tiedosto klikkaamalla sen päältä oikealla hiirellä ja valitsemalla *Export to Excel* (KUVA 27).



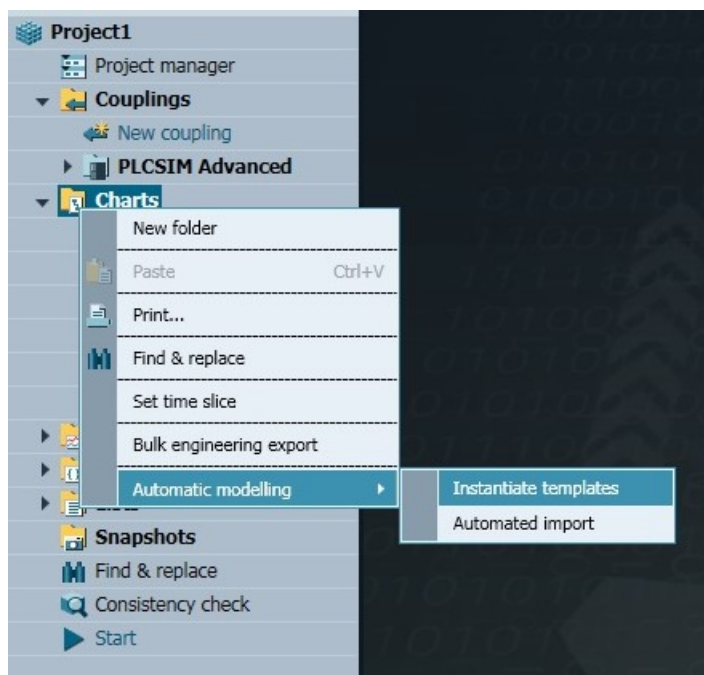
KUVA 27. Excel-export tehdystä mallipiiristä

Saatu Excel-taulukko sisältää template-piirille määritetyn muuttujarakenteen, jolloin sen kautta voidaan parametroida useita piirejä kerralla (KUVA 28). Lisäksi siihen voi määrittää valmiiksi uusille Chart-kaavioille sopivat nimet sekä projektipuhun tehtävän kansiorakenteen.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	HIERARCHY	TEMPLATE	CHART	Ohjaus1_Nimi	PLC_Nimi	Sensori1_Nimi	Sensori2_Nimi	Sensori3_Nimi
2	Kaaviot	Template1	Piiri1					
3	Kaaviot	Template1	Piiri2					
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

KUVA 28. Template-piirin excel-tiedoston rakenne

Valmis Excel-tiedosto voidaan tuoda SIMIT:iin *Instantiate templates* -valinnan kautta (KUVA 29), jolloin piirit generoituvat projektiin kyseisten taulukkomäärittelyjen mukaisesti. Tämä on nopea ja helposti hyödynnettävissä oleva tapa etenkin silloin, kun tehdään suuria määriä samanlaisia piirejä.



KUVA 29. Valmiin excel-tiedoston tuonti SIMIT:iin

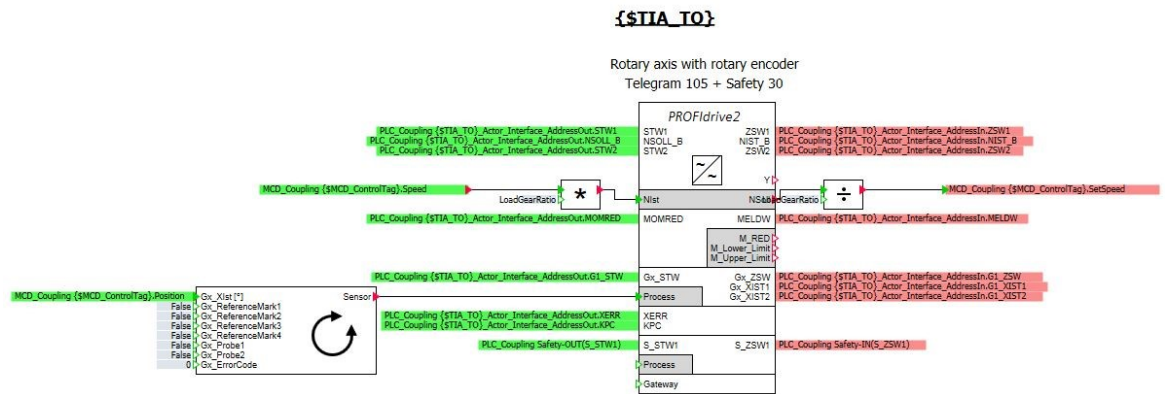
## 6 KENTTÄLAITTEIDEN SIMULOINTI SIMITISSÄ

Työssä rakennettiin valmiit template-mallipiirit kaikkia käytettäviä kenttälaitteita varten. Osassa piireistä hyödynnettiin SIMIT:n makroja, jolloin saatiin yksinkertaistettua kunkin ohjelmakaavion piirirakennetta ja siten parannettua niiden käytettävyyttä. Siemensin sähkökäyttöjen simuloinnissa käytettiin SIMIT-kirjastosta löytyviä valmiita PROFIdrive-komponentteja.

### 6.1 Siemensin sähkökäyttöjen simulointi

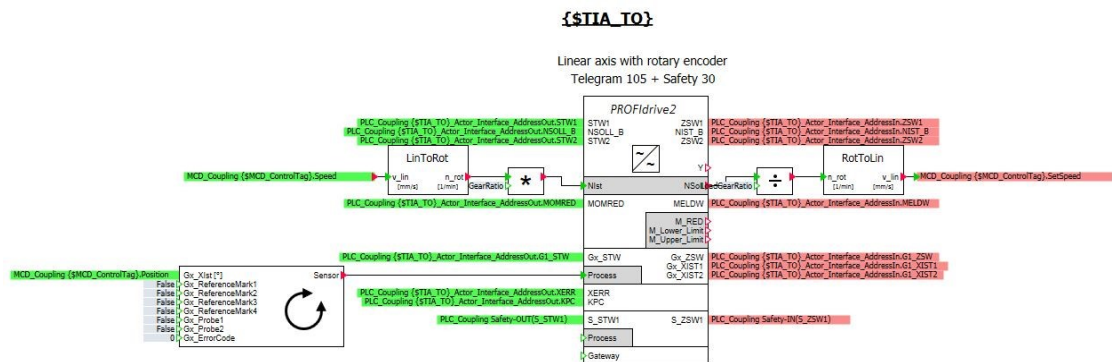
Siemensin S120-sarjan servo-ohjainten simulointia varten luotiin mallipiirit, jotka vastasivat toiminnaltaan käytettävää telegram-rakennetta. Niihin kuuluivat telegram 105 sekä safety 30 -turvatelegram. Ohjaukset parametroidaan TIA Portalissa käyttäen liikkeenohjaukseen tarkoitettuja teknologiaobjekteja. Siksi muuttujien nimeämisessä voitiin käyttää hyödyksi IO-muuttujarakenteita, jotka muodostuvat automaattisesti tällaisille ohjauksille. Tällöin mallipiiriä käytettäessä pitää määrittää vain kyseisen ohjattavan akselin nimi (\$TIA\_TO), jolloin signaaliuuttujien nimeäminen tulee automaattisesti oikeassa muodossa. Turvatoimintojen käyttämille muistialueille tulee erikseen määrittää muuttujanimet SIMIT:iin, sillä ne eivät määrity automaattisesti TIA Portalin muuttujalistauksen kautta.

Käytössä on kahdenlaisia ohjauksia: pyörimisakselin sekä lineaariakselin ohjauksia, joista molemmissa käytetään pyörimisliikettä mittaavaa enkooderia. Kuvassa 30 on nähtävissä vastaavaa pyörimisakselia kuvaava mallipiiri. Siihen on valmiiksi määritelty paikat PLC- ja MCD-muuttujille sekä lisäksi paikat kuormavaihteen mukaiselle skaalaukselle MCD-malliin siirrettäviä nopeussignaaleita varten. Tämä skaalaus on mahdollista tehdä jo SIMIT-piireihin, jos halutaan säästää vaivaa MCD:n 3D-mallissa ohjattavien akseleiden määrittämisessä.



KUVA 30. S120-ohjatun pyörimisakselin simulointimalli käyttäen telegramrakenteita 105 ja safety 30

Lineaariakselia ohjaavia moottoreita varten luotiin oma piiri, jossa ainoana erona aikaisempaan piiriin on RotToLin- ja LinToRot-lohkojen käyttö pyörimisliikkeen muuttamiseksi lineaariliikkeeksi ja toisinpäin (KUVA 31). Tämä on tarpeellista tehdä ennen signaalien siirtoa MCD:lle, jotta siellä voidaan tehdä tarvittavat nopeusohjaukset suoraan käytetyille lineaariakseleille.

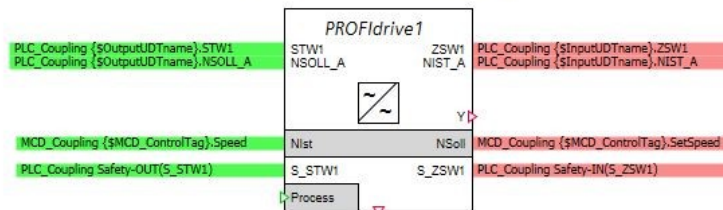


KUVA 31. S120-ohjatun lineaariakselin simulointimalli käyttäen telegramrakenteita 105 ja safety 30

G120-taajuusmuuttajassa käytettävän telegram 352:n sijaan oli tarpeen simuloida vain telegram 1:tä vastaavaa toiminnallisuutta, sillä vain sen sisältämät muuttujat olivat simuloinnin kannalta oleellisia. Lisäksi käytössä oli safety 30 -turvatelegram. G120-käytössä ei ollut käytössä TIA Portalin teknologiaobjekteilla määriteltäviä ohjauksia, vaan ohjaukset oli toteutettu toisenlaisilla lohkoilla. Silti SIMIT:ssä hyödynnettiin TIA Portaliin määritettäviä telegram 1:n muuttujarakenteita, jolloin voitiin käyttää aikaisempia piirejä vastaavia nimityksiä myös tämän piirin muuttujissa. Kuvassa 32 on nähtävissä tälle kokonaisuudelle rakennettu valmis mallipiiri.

**{ \$Axis\_Name }**

**Telegram 1 (352) + Safety 30**

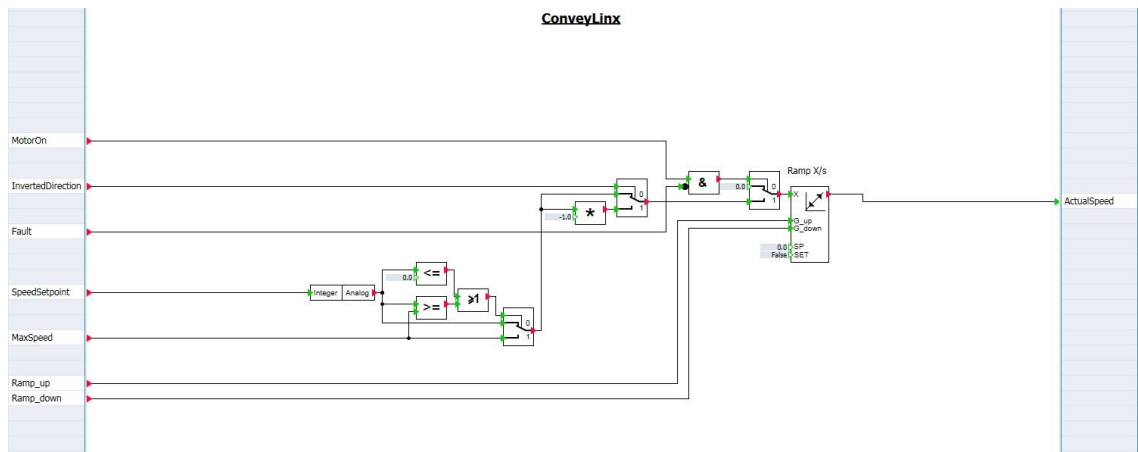


KUVA 32. G120-taajuu muutajalla ohjatun akselin simulointimalli käyttäen telegram-rakenteita 1 ja safety 30

Lisäksi ennen sähkökäyttöjen simulointia kaikkiin PROFIdrive -lohkoja hyödynnäviin simulointimalleihin tulee määrittää kyseisen sähkökäytön tarvitsemat parametrit. Parametrit määritetään kuhunkin niitä tarvitsevaan PROFIdrive-lohkoon properties-valikon kautta ja niiden tulee vastata TIA Portalissa tehtyä laitekonfiguraatiota. Nämä ovat välttämättömiä, jotta simulointi pystyy kokonaisuudessaan vastaamaan kyseisten sähkökäyttöjen käyttäytymistä. Tällaisia ovat esimerkiksi moottorin maksimi- ja referenssinopeudet sekä käytettävään enkooderi-tyyppiin liittyvät parametrit. Parametrien määrä vaihtelee kuitenkin simuloitavan laitteiston mukaan, jonka vuoksi niitä kaikkia ei ole tässä työssä erikseen listattuna.

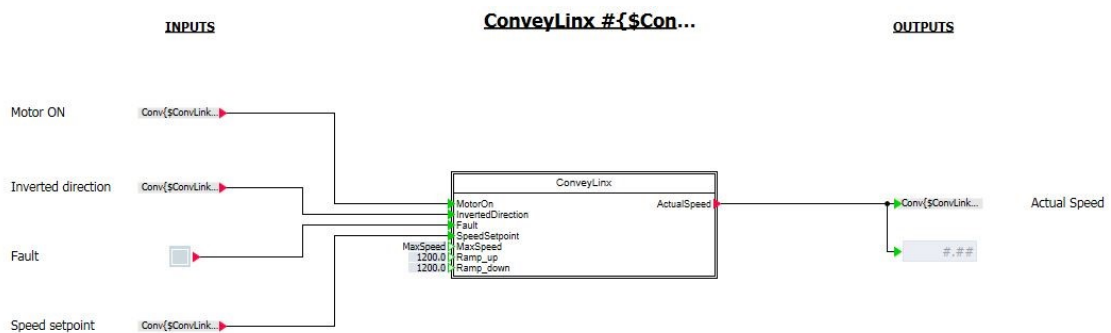
## 6.2 Kuljetinrullien moottorihjaukset

Siemensin sähkökäyttöjen lisäksi oli käytössä PROFINET-ohjattuja ConveyLinx-rumpumoottoreita. Niiden simuloinnissa hyödynnettiin SIMIT:n makrorakennetta, jotta käytettävästä template-mallipiiristä saatiin yksinkertaisempi. Moottorin nopeusohjauksessa käytettiin hyödyksi SIMIT-kirjaston rampituslohkoa, jolla voitiin kiihdyttää moottorin nopeus tietyssä ajassa asetusarvoonsa. Kuvasta 33 on nähtävissä kyseisen moottorityypin ohjaukseen käytetty makrorakenne.



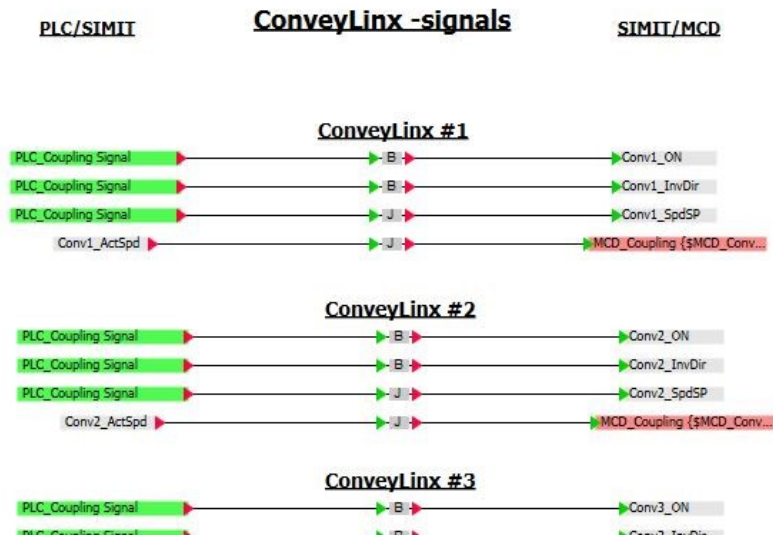
KUVA 33. ConveyLinX-rumpumoottorin ohjaukseen käytetty makro-rakenne

Makron avulla luotiin erillinen template-malli, johon määritettiin ohjaukseen tarvittavat signaalit (KUVA 34). Piiriin on määritetty muuttujat moottorin ohjaukseen sekä mahdollisuus asettaa moottori virhetilaan testitilanteita varten.



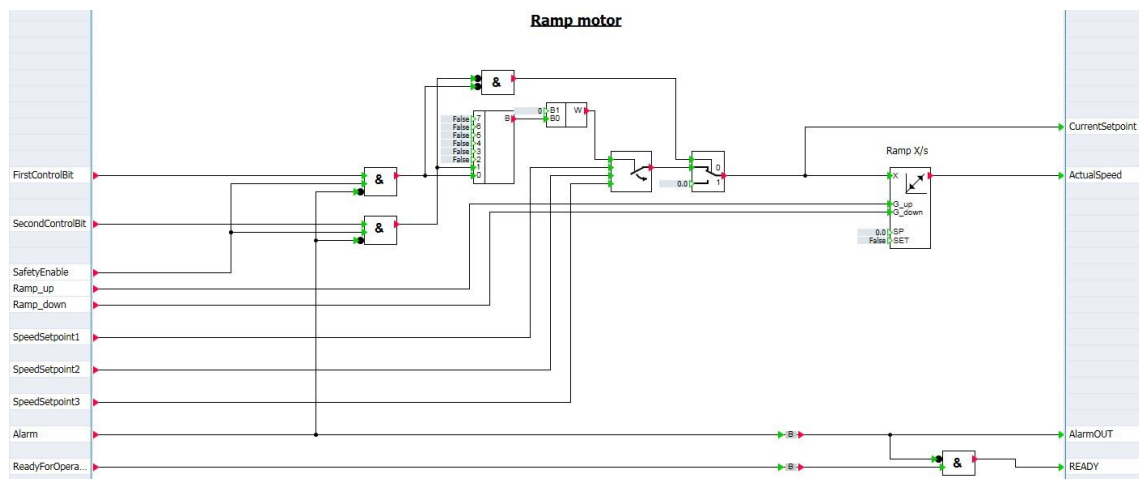
KUVA 34. ConveyLinX-rumpumoottorin ohjaukseen tarkoitettu template-malli

Lisäksi rumpumoottoareiden signaalit tuli linkittää oikein simulointiohjelmien välillä. Tarvittavat signaalit haluttiin siirtää moottorin ohjauspiiriin SIMIT:n sisäisillä muuttujilla, jonka vuoksi luotiin erillinen ohjelmakaavio linkitystä varten. Kuvassa 35 näkyvässä kaaviossa määritetään käytettävät PLC:n ohjaussignaalit moottoriin meneviin sisäisiin muuttujiin. Vastaavasti moottoriin tuleva nopeuden asetusarvo linkitetään saman kaavion kautta sitä vastaavaan MCD-muuttujaan.



KUVA 35. ConveyLinx-rumpumootoreiden signaalien linkitykseen käytettävä mallipiiri

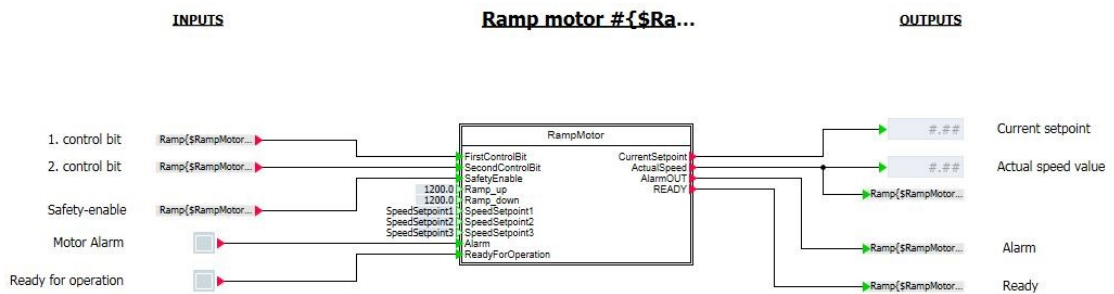
Lisäksi tulevaisuudessa mahdollisesti käytettävien rampimootorien simulointiin tehtiin oma mallipiirinsä. Ohjauksen asetusarvon valinnassa hyödynnettiin SIMIT-kirjaston Selection-lohkoa, jolla voitiin valita kulloinkin ohjattava nopeuden asetusarvo. Nopeusohjaus toteutettiin rumpumootorin tapaan valmiilla rampituslohkolla. Rampimootorin toimintaa vastaava makro-rakenne on nähtävissä kuvasta 36.



KUVA 36. Rampimootorin ohjaukseen käytettävä makro-rakenne

Moottorin ohjausta varten tehtiin template-mallipiiri, jossa hyödynnettiin aikaisempaa makro-rakennetta. Piiriin on tuotavissa ohjaukseen tarvittavat bittimuuttajat sekä siihen on määritettävissä käytetyt nopeuden asetusarvot. Lisäksi käyttäjä voi halutessaan vaihdella moottoriin liittyvien Alarm- ja Ready for ope-

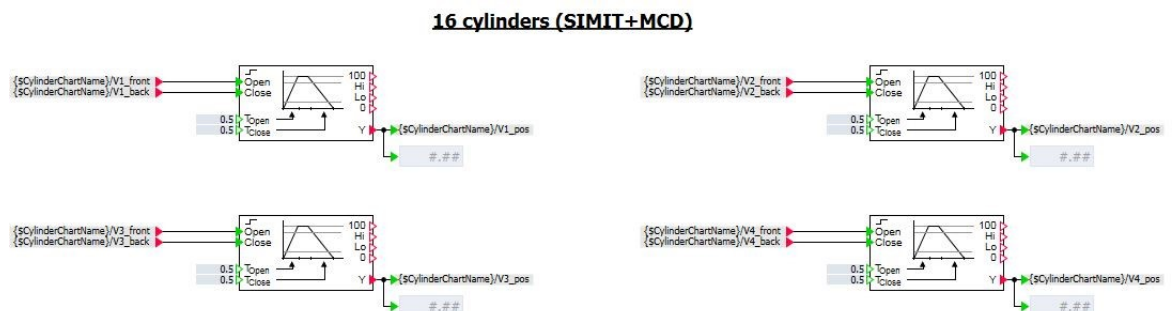
ration -signaalien tiloja. Mallipiirissä käytetyt sisäiset ohjausmuuttujat määrittävät IO-korteille tehtyjen piirirakenteiden kautta, joiden toimintaa on selitetty tarkemmin kappaleessa 6.5. Ramppimoottorin ohjaukseen tarkoitettu mallipiiri on nähtävissä kuvassa 37.



KUVA 37. Ramppimoottorin ohjaukseen käytettävä template-mallipiiri

### 6.3 Sylinterikäytöt

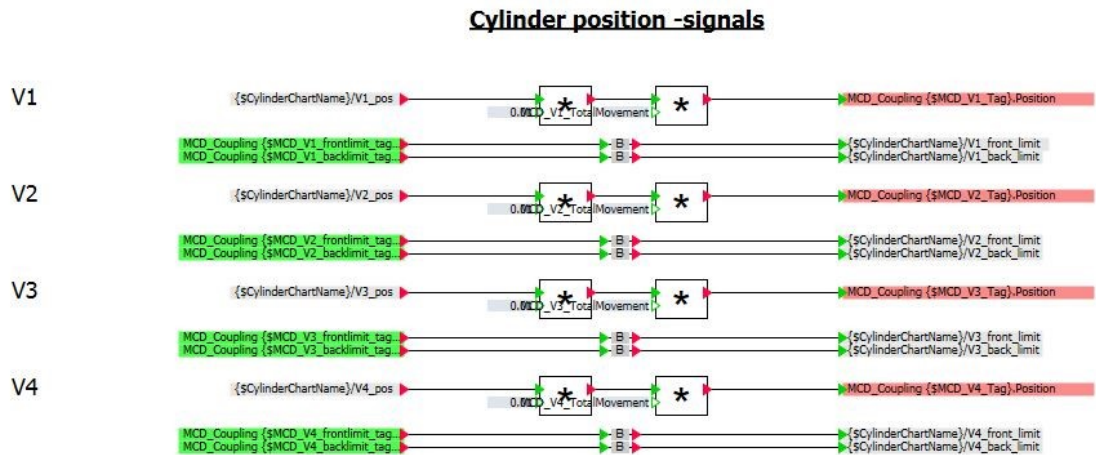
Sylinteriliikkeiden mallinnusta varten tehtiin 16 sylinteriä sisältäviä ohjauskaavioita, joista jokaiseen linkitettiin ohjaussignaalit ja niistä saatiin sylinterin asentotieto ohjaukseksi MCD-mallissa ohjattavalle sylinterille (KUVA 38). Piirit toteutettiin kaksitoimisille sylintereille. Jos ohjattava sylinteri on yksitoiminen, niin siinä tapauksessa toinen ohjaus voidaan määrittää toimimaan käänteisesti vastakkaisen ohjauksen kanssa. Signaalien nimeäminen toteutettiin ohjelmakaavion nimen mukaan ({\$CylinderChartName}), jolloin jatkossa voidaan luoda useita samanlaisia sylinterikaavioita käyttäen samaa template-mallipiiriä.



KUVA 38. Sylinteriliikkeiden mallintamiseen käytettävä template-mallipiiri

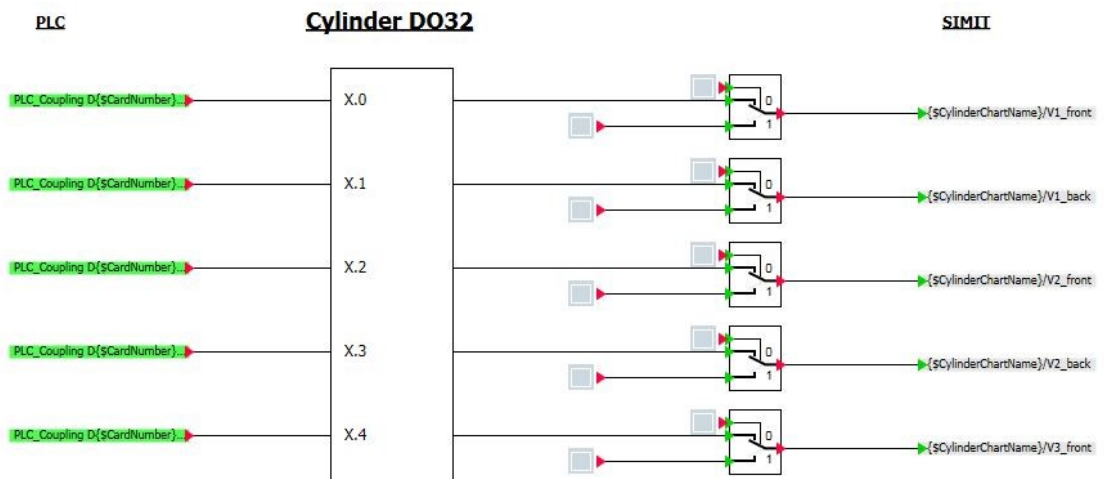
Sylinterien ohjaus- ja rajatietosignaalien linkitys MCD-malliin toteutettiin erillisen piirin kautta (KUVA 39). Kyseiseen mallipiiriin sisällytettiin myös skaalaus

MCD:lle meneville asentosignaaleille, jolloin sen kautta voidaan määrittää ohjatut sylinteriliikkeet oikean mittaisiksi niitä vastaavalle 3D-mallille.



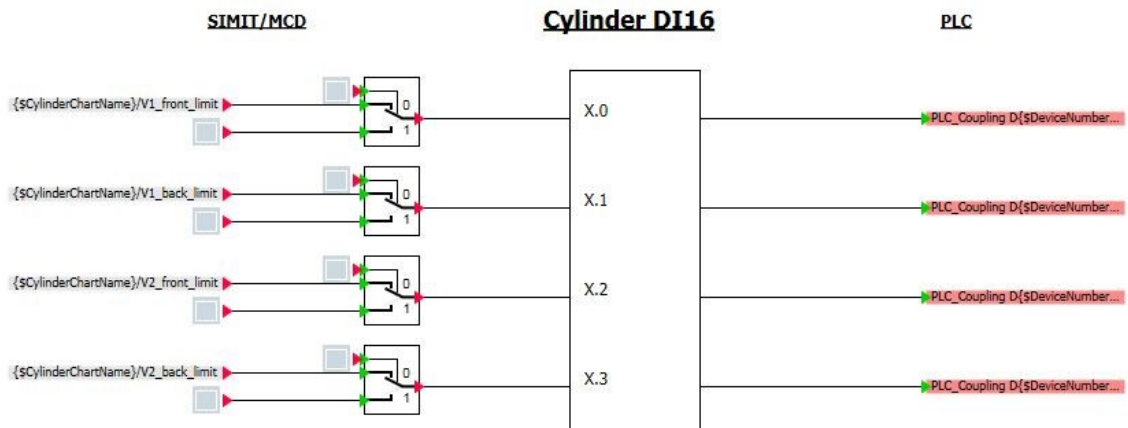
KUVA 39. Sylinterien signaalien linkitys SIMIT:n ja MCD:n välillä

Sylinterien liikuttamiseen käytetään releohjauksia. Ohjaussignaalien linkitykselle tehtiin oma mallipiiri, johon voidaan lähtökortin numeron mukaan luoda valmiit linkitykset oikeista PLC-signaaleista tehtyihin sylinteripiireihin (KUVA 40).



KUVA 40. Sylinteriohjausten linkitys SIMIT:n sisäisiin ohjausmuuttujiin

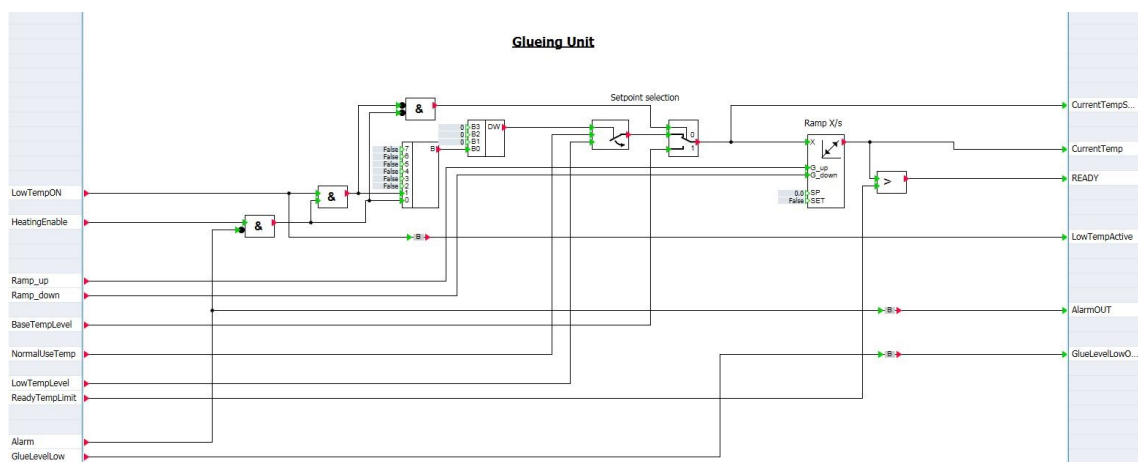
Vastaavasti myös sylintereiltä saatavat rajatiedot tuli linkittää niitä vastaaville tulokorteille. Tätä varten luotiin oma mallipiiri, jonka avulla voitiin linkittää rajatie-tojen sisäiset muuttujat tiettyä numeroa vastaavalle tulokortille (KUVA 41).



KUVA 41. Sylinterien rajatietojen linkitys logiikan tulokortille

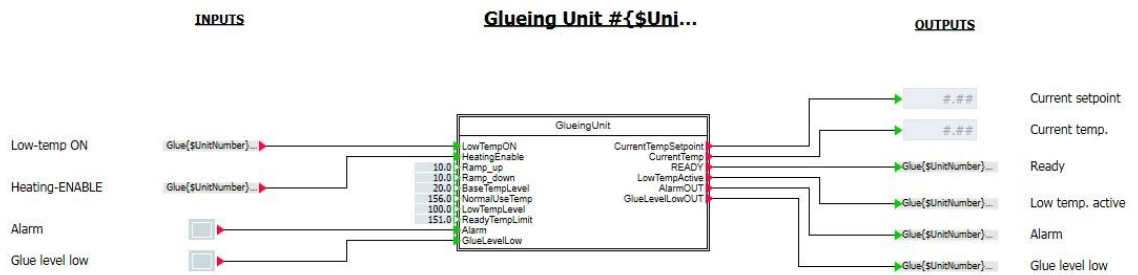
## 6.4 Muuttuvien prosessiarvojen simulointi

Pakkauskoneissa on käytössä liimapannu, jonka toimintaa lämmityksen suhteen haluttiin simuloida. Pannu voidaan ajaa logiikkaohjauksella joko normaaliin käyttölämpötilaan tai alennuslämpötilaan. Lämpötilan muutoksen simuloinnissa käytettiin apuna SIMIT:n omaa rampituslohkoa. Liimapannun toimintaa mallintava makro-rakenne on nähtävissä kuvasta 42.



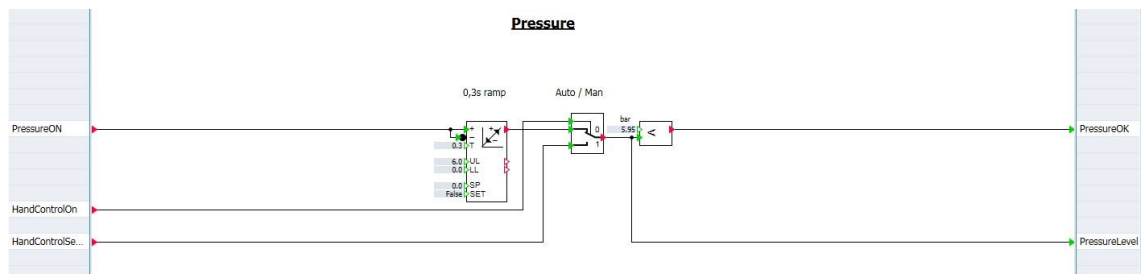
KUVA 42. Liimapannun toimintaa mallintava makro-rakenne

Lisäksi liimapannua varten tehtiin oma template-malliipiiri, johon tuotiin tarvittavat ohjaussignaalit sekä lisättiin käyttäjälle mahdollisuus asettaa liimapannun hälytys ja liima vähissä -tiedot aktiiviseksi. Liimapannun mallipiiri on nähtävissä kuvasta 43.



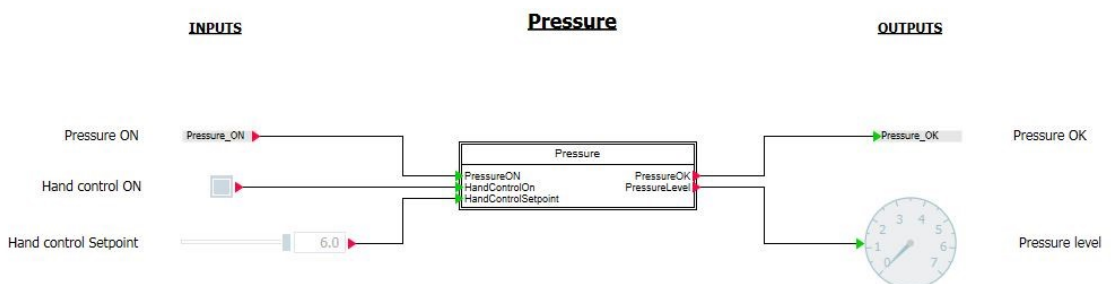
KUVA 43. Liimapannun simulointiin käytettävä template-mallipiiri

Järjestelmän paineilmatasoa haluttiin mallintaa sen kaltaisten virhetilanteiden testausta varten, missä laitteiston paineet katoavat. Tätä varten rakennettiin makro-piiri, jossa paineilman muutos toteutettiin rampituslohkolla (KUVA 44).



KUVA 44. Paineilman simuloinnissa käytettävä makro-rakenne

Paineilman muutokselle tehtyä makro-lohkoa hyödynnettiin vastaavassa template-mallipiirissä (KUVA 45). Piirin kautta käyttäjällä on myös mahdollisuus paineilmatason käsisäätöön.

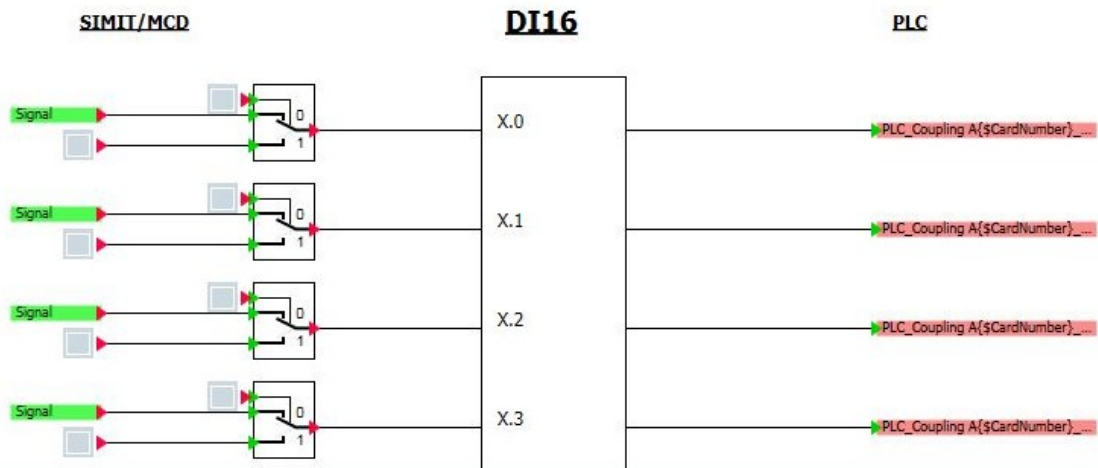


KUVA 45. Paineilman simuloinnissa käytettävä template-mallipiiri

## 6.5 Muu simuloitava IO-data

IO-signaalien linkityksessä haluttiin käyttää erillisiä lohkoja, joiden kautta voisi helpommin yhdistää sekä MCD:itä että SIMIT-lohkoista tulevat signaalit niitä

vastaaville IO-korteille. Tätä varten tehtiin yleisesti käytettävät IO-korttirakenteet, joissa käytettävän kortin numeron mukaan voidaan määrittää valmiiksi PLC:lle yhdistettävät signaalimuuttujat. Tällöin esimerkiksi MCD-mallista saadut anturiedot voidaan linkittää suoraan niitä PLC-konfiguraatiossa vastaaviin tulosignaaleihin. Kuvassa 46 on nähtävissä mallipiirin rakenne 16-kanavaisen tulokortille.



KUVA 46. 16-kanavaisen tulokortin template-mallipiiri

Vastaavasti haluttiin tehdä samanlaiset mallipiirit SIMIT:n sisäisten ohjaussignaaleiden ja MCD-ohjausten linkitystä varten. Kuvassa 47 on nähtävissä mallipiirirakenne 16-kanavaiselle PLC:n lähtökortille.

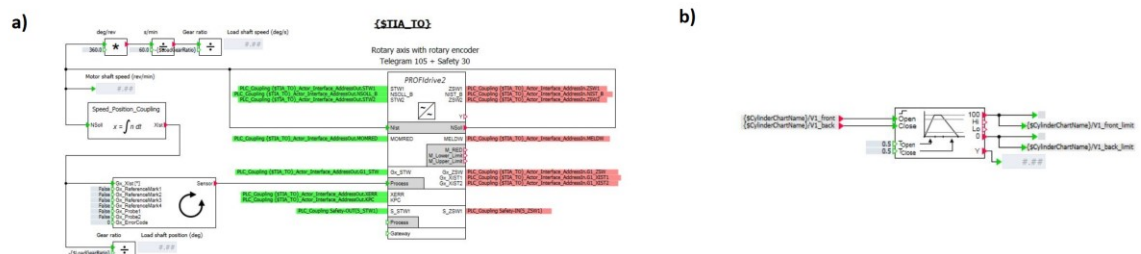


KUVA 47. 16-kanavaisen lähtökortin template-mallipiiri

## 6.6 Simulointi ilman MCD-mallinnusta

Työssä rakennettuja piirejä on myös osittain mahdollista käyttää ilman MCD:llä tehtävää 3D-mallia. Siten on mahdollista testata joitain perustavanlaatuisia toiminnallisuuksia, kuten sylinteri- ja sähkökäyttöjen ohjauksia, turvapiirejä ja hälytystoimintojen oikeellisuutta. Sen avulla ei kuitenkaan ole mahdollista simuloida koko järjestelmän toimintaa, kun esimerkiksi kentältä saatavia anturitietoja on vaikea simuloida oikea-aikaisesti itse. Tällaista simulointia varten luotiin kuitenkin muutamia lisäpiirejä sähkökäyttöille ja sylintereille, jotta saatiin mahdollistettua tarvittavat takaisinkytkentäsignaalit ilman käytössä olevaa 3D-mallia.

Servokäyttöjen simuloinnissa hyödynnettiin nopeuden ja ajan avulla paikkatietoa laskevaa integrointilohkoa, jolloin saatiin mallinnettua liikettä vastaavaa paikkatietoa enkooderille (KUVA 48a). Vastaavasti sylinterikäyttöille tehtiin omat piirit, joissa päätyrajatiedot otettiin suoraan liikettä mallintavasta SIMIT-lohkosta (KUVA 48b). Tällä tavoin mahdollistettiin logiikkaohjausten toiminnan testaus näiden laitteiden osalta sellaisessa tilanteessa, jossa MCD-mallia ei ole vielä käytössä.



KUVA 48. Servokäytön ja sylinterin toiminnan simulointi ilman MCD-mallinnusta

## 6.7 Ohjauspaneeli

SIMIT:iin rakennettiin lisäksi ohjauspaneeli, josta käyttäjä pystyy tekemään perustavanlaatuisia ohjauksia sekä laukaista erinäisiä turvatoimintoja (KUVA 49). Ohjauspaneeli pitää sisällään start-, stop- ja kuittaus -painikkeet, joiden tarkoituksena on toimia vastaavina painikkeina, mitä operaattori normaalisti käyttäisi kentällä laitteen läheisyydessä. Ohjauspaneelissa on myös painikkeet hätä-seis-

piirin sekä ovipiirin laukaisua varten, joiden avulla voidaan testata turvapiirien toiminta sekä järjestelmän reagointi niiden laukeamiseen.



KUVA 49. SIMIT:iin luotu ohjauspaneeli

## 7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli luoda virtuaaliseen käyttöön ottoon soveltuvat simulointipiirit yleisesti asiakkaan käytössä oleville kenttälaitteille. Työn aikana tutustuttiin hyödynnettäviin SIMIT:n ominaisuuksiin sekä simuloinnin vaatimuksiin. Ohjelmiston todettiin olevan toiminnallisuuksiltaan monipuolinen ja sen yhdistäminen muihin simulointiohjelmiin tekee siitä monikäyttöisen. Kaikkien laitteiden simulointiin saatiin toimivat piirit, jotka ovat muunneltavissa tarpeen mukaan tulevaisuuden käyttöä varten.

Lähes kaikki halutut laitteet ja toiminnallisuudet saatiin työn puitteissa simuloitua. Yhtenä puuttuvana asiana olisi toivottu mahdollisuutta simuloida PROFINET-väylän toimintaa niin, että käyttäjä olisi halutessaan voinut tiputtaa joitain laitteita pois väylästä. Tähän olisi kuitenkin vaadittu erilaista kokoonpanoa, jossa olisi pitänyt käyttää todellista logiikkaa simuloinnin ohella (HiL), jolloin sen ei nähty olevan työn kannalta kannattavaa.

Tulevaisuudessa asiakkaan puolelta on aikomuksena hyödyntää NX MCD:llä tehtävää 3D-mallinnusta, jolloin SIMIT-simuloinnista saadaan täysi hyöty irti. Tehdyt mallipiirit rakennettiin MCD-simulointia silmällä pitäen, jotta tuleva yhdistäminen MCD-mallin kanssa olisi vaivatonta.

## LÄHTEET

Asiakastieto. 2019. Luettu 30.5.2019.

<https://www.asiakastieto.fi/yriytykset/fi/jomet-oy/04698522/taloustiedot>

Basic Slide Set PROFIdrive. 2019. Luettu 30.5.2019.

[http://www.profibus.org.pl/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=155&Itemid=15](http://www.profibus.org.pl/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=155&Itemid=15)

The Economist. 2019. Modern manufacturing's triple play: Digital twins, analytics and IoT. Luettu 30.5.2019.

[https://www.sas.com/en\\_us/insights/articles/big-data/modern-manufacturing-s-triple-play-digital-twins-analytics-iot.html#/#/](https://www.sas.com/en_us/insights/articles/big-data/modern-manufacturing-s-triple-play-digital-twins-analytics-iot.html#/)

Geissbauer, R., Schrauf, S., Bertram, P., Cheraghi, F. 2017. Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing. Julkaistu 5.6.2017. Luettu 30.5.2019.

<https://www.pwc.com/gx/en/industries/industrial-manufacturing/publications/digital-factories-2020.html>

Grieves, M., Vickers, J. 2016. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (Excerpt). Luettu 30.5.2019.

[https://www.researchgate.net/publication/307509727\\_Origins\\_of\\_the\\_Digital\\_Twin\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept)

Hulkkonen, V. 2006. Pneumatiikan perusteita: Toimilaitteet. Luettu 30.5.2019.

<https://www.salhydro.fi/files/PDF/13.pneumatiikan-perusteita-toimilaitteet.pdf>

Liu, Z., Suchold, N., Diedrich, C. 2012. Virtual Commissioning of Automated Systems. Luettu 30.5.2019.

<https://www.intechopen.com/books/automation/virtual-commissioning-of-automated-systems>

Mechatronics Concept Designer. 2010. Luettu 30.5.2019.

[https://www.ideal-plm.ru/uEditor/files/4/NXCAD01\\_16\\_en\\_mcd\\_FS.pdf](https://www.ideal-plm.ru/uEditor/files/4/NXCAD01_16_en_mcd_FS.pdf)

Mechatronics Concept Designer. 2014. Luettu 30.5.2019.

<https://www.geoplms.com/knowledge-base-resources/GEOPLM-Siemens-PLM-NX-CAD-CAE-Mechatronics-Concept-Designer-fs-Y10-2.pdf>

Pakkauskoneet. 2019. Luettu 30.5.2019.

<http://www.jomet.fi/pakkauskoneet/>

Siemens Suomessa ja Baltiassa. 2019. Luettu 30.5.2019.

<https://new.siemens.com/fi/fi/yhtio/siemens-suomessa-ja-baltiassa.html>

Simatic S7-PLCSIM Advanced. 2019. Luettu 30.5.2019.

<https://w3.siemens.com/mcms/automation-software/en/tia-portal-software/step7-tia-portal/simatic-step7-options/s7-plcsim-advanced/pages/default.aspx>

SIMATIC/SIMOTION virtual commissioning with "Hardware in the Loop". 2018. Luettu 30.5.2019.  
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109758739/simatic-simotion-virtual-commissioning-with-hardware-in-the-loop?lc=en-GB>

SIMATIC Machine Simulator Virtual commissioning of machines. 2018. Luettu 30.5.2019  
<https://support.industry.siemens.com/cs/gb/en/view/109758943>

SIMIT Simulation Platform. 2018. Manuaali. Luettu 30.5.2019.  
[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/317/109759317/att\\_956837/v1/SIMIT\\_enUS\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/317/109759317/att_956837/v1/SIMIT_enUS_en-US.pdf)

SINAMICS S120/S150 List Manual. 2014. Luettu 30.5.2019.  
[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/911/99682911/att\\_863921/v1/S120\\_S150\\_List\\_Manual\\_LH1\\_0414\\_eng.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/911/99682911/att_863921/v1/S120_S150_List_Manual_LH1_0414_eng.pdf)

Software-in-the-Loop. 2018. Luettu 30.5.2019.  
<https://www.opal-rt.com/software-in-the-loop/>

Tarvas, T. 2018. Virtuaalinen mallinnus mullistaa käyttöönottoa. Luettu 30.5.2019.  
[http://www.automaatiovayla.fi/wp-content/uploads/2018/03/Automaatiovayla\\_2\\_2018.pdf](http://www.automaatiovayla.fi/wp-content/uploads/2018/03/Automaatiovayla_2_2018.pdf)

TIA Portal – teollisuusautomaation ohjelmistoalusta. 2019. Luettu 30.5.2019.  
[http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/tia\\_portal.php](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/tia_portal.php)