Tampereen ammattikorkeakoulu

Prosessimallinnuksen käyttöönotto

Juha Anttonen

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

ANTTONEN, JUHA:
Prosessimallinnuksen käyttöönotto

Opinnäytetyö 56 sivua
Huhtikuu 2020

Opinnäytetyön tarkoituksena oli testata prosessimallinnuksen käyttöä automaatiojärjestelmän ohjelman virtuaalisessa testaamisessa ennen ohjelman käyttöönottoa fyysisessä laitteistossa. Työ toteutettiin Orion Oyj:lle. Työssä leijurakeistimen ilmankäsittelyä mallinnettiin Siemensin SIMIT-simulointialustalla ja ohjattiin SIMIT Virtual Controllerilla. Tavoitteena on virtuaalisen testaamisen avulla lyhentää prosessin käyttöönottoon ja validointiin kuluvaa aikaa.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin luomalla prosessin automaatiojärjestelmää vastaava virtuaalinen kokonaisuus. Prosessin simulointia varten automaation kenttälaitteet mallinnettiin SIMITin avulla. Lopuksi luotiin yksinkertaistettu prosessimalli hyödyntäen kenttälaitteiden simulointimalleja sekä FLOWNET-kirjaston väliainemallinnusta.

Virtuaalisen ympäristön luominen simulointia varten oli huomattavasti haastavampaa, kuin mitä työtä aloittaessa ajateltiin. Itse SIMITin käyttö koettiin riittävän yksinkertaiseksi, ja sen käyttöönottoa tullaan jatkamaan tulevaisuudessa. Työssä luotuja SIMITin lohkokaaviopohjia hyödyntäen seuraavan prosessin mallintaminen on helppoa. Tulevaisuudessa SIMIT tullaan ottamaan osaksi automaatiojärjestelmään tehtyjen ohjelmamuutosten testaamista.

Avainsanat: mallintaminen, prosessi, simulointi, testaus, virtualisointi

ABSTRACT

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

ANTTONEN, JUHA:
Commissioning of Process Modelling

Bachelor's thesis 56 pages
April 2020

The purpose of this thesis was to test the use of process modelling in virtual PLC program testing before using physical hardware. The study was conducted for Orion Corporation. The air treatment system of a fluid coating machine was modeled using the Siemens SIMIT Simulation Platform and controlled with a SIMIT Virtual Controller. Testing with virtual models aims to reduce the time needed for commissioning and validation.

The first step was to simulate the automation control system and communication between different components using virtual machines. Siemens SIMIT was utilized to simulate automation field devices. Once set up, a simple process model was created using models made for field devices together with the medium modeling feature of the FLOWNET library

Creating the virtual environment for simulation was significantly more difficult than expected. Using SIMIT itself was simple enough and commissioning of SIMIT will continue in future. SIMIT chart templates created during this study can be used in the modeling of the next process machine. Based on the experience gathered during the study, first step in future testing will be to use the SIMIT to test PLC program changes in advance more deeply than nowadays.

Key words: modelling, process, simulation, testing, virtualization

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 7
2 MALLINNUSYMPÄRISTÖN OHJELMISTOT 8
2.1 VMware Workstation Pro -virtuaalikone 8
2.2 SIMIT-simulointiohjelmisto 9
2.2.1 SIMIT Simulation Platform, simulointialusta 9
2.2.2 SIMIT Virtual Controller, virtuaalinen prosessiohjain 9
2.2.3 FLOWNET-prosessinmallinnuskirjasto 9
2.3 PCS 7 -prosessinohjausjärjestelmä 10
2.4 SIMATIC WinCC -valvomo-ohjelmisto 10
3 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN ASEMAT 11
3.1 Engineering Station (ES), Suunnitteluasema 11
3.2 Operator Station (OS), operointiasema 11
3.3 Automation Station, (AS), prosessiasema 11
4 SIMULOINTIYMPÄRISTÖ 12
4.1 Leijurakeistin 12
4.2 Simulointimallin tietokoneet 12
4.3 Simulointiympäristön muodostaminen 13
5 VIRTUAALIKONEIDEN KÄYTÖÖNOTTO 15
5.1 Virtuaalikoneiden käyttöjärjestelmien asennus 15
5.2 Virtuaalikoneiden ohjelmistojen asennus 15
5.3 Virtuaalikoneiden verkkoasetusten määritys 17
5.4 Virtuaalikoneiden kansiojako ja käyttäjäoikeudet 18
5.5 Virtuaalikoneiden kesken jaettu kansio 20
6 SIMIT-PROJEKTIN LUOMINEN 22
6.1 PCS 7 -projektin valmistelu 22
6.2 HWCNExport, laitteistomäärittelyn ja muuttujien vienti -työkalu 22
6.3 XMLTransfer, lohkokaavion vienti -työkalu 23
6.4 Projektin luominen SIMITissä 24
6.5 Lohkokaaviopohjien luonti 26
6.6 PCS 7 -kaavioiden kopiointi SIMITtiin kaaviopohjien avulla 30
6.7 Väyläohjattu moottori 32
7 SIMULOINTIYMPÄRISTÖN ASEMIEN VÄLISTET YHTEYDET 34
7.1 Laitteistomäärittelyn ja projektin lataaminen Virtual contolleriin 34
7.2 SIMIT – ES -yhteyden testaaminen 36
7.3 Valvomoprojektin lataaminen Virtual Controlleriin 38
8 SIMIT-PROSESSIMALLIN LUONTI 45

8.1 FLOWNET-kirjastosta käytössä olleet komponentit 45
8.2 Signaalien yhdistäminen toimilaitteisiin 45
8.3 Ilmankäsittelyn FLOWNET-malli 47
8.4 Mittauksien ja ohjauksien skaalaaminen 48
8.5 Paine-eroon perustuvan virtausmittauksen skaalaus 49
8.6 Prosessin ohjaaminen 50
8.7 SIMITin komentosarjojen toiminta 51
9 POHDINTA 53
LÄHTEET 55

LYHENTEET

AS	Automation Station, prosessiasema
ES	Engineering Station, suunnitteluasema
OS	Operation Station, operointiasema
PCS	Process Control System, prosessinohjausjärjestelmä
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Siemensin SIMIT-simulointiohjelmistoon ja selvittää, kuinka sitä voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa automaatiojärjestelmän ohjelman testaamisessa. Ohjelman testaamisella etukäteen simuloidussa ympäristössä voidaan vähentää tehdas- tai muutostestaukseen sekä validointiin kuluvaa aikaa, koska mahdolliset puutteet voidaan havaita ennen testejä fyysisillä laitteilla. Tämä vähentää tarvetta seisottaa prosessia, josta voi syntyä huomattavia säästöjä.

Aluksi työssä keskitytään simulointiympäristönä käytettyjen virtuaalikoneiden asentamiseen ja asetusten määrittämiseen. Simulointiympäristön asentamisen jälkeen käydään läpi kenttälaitteiden mallien luomista sekä automaatiojärjestelmän osien välisten yhteyksien muodostamista. Lopuksi käydään läpi prosessimallin luomista SIMITin FLOWNET-kirjastolla. Työssä prosessimallinnuksen kohteena toimii leijurakeistimen ilmankäsittelylaitteisto.

Työ tehtiin Orionin lääketehtaalle Espooseen. Orion on suomalainen vuonna perustettu 1917 maailmalaajuisesti toimiva lääkeyhtiö. Orion kehittää, valmistaa ja markkinoi ihmis- ja eläinlääkkeitä sekä lääkkeiden vaikuttavia aineita. Se myös panostaa jatkuvasti uusien lääkkeiden sekä hoitotapojen tutkimiseen ja kehittämiseen. Orionin lääketutkimuksen ydinalueita ovat keskushermostosairaudet, syöpäsairaudet sekä hengityselinsairaudet. (Orion. Konserni)

2 MALLINNUSYMPÄRISTÖN OHJELMISTOT

2.1 VMware Workstation Pro -virtuaalikone

Tehtaalla fyysisesti olevista tietokoneista luotiin työtä varten virtuaalikoneet. Virtuaalikone on fyysisellä isäntätietokoneella (Host) sijaitseva tiedostopohjainen ohjelmistotietokone (Guest). Virtuaalikone simuloi fyysisen tietokoneen toimintaa virtualisointia varten luodulla ohjelmalla. Virtuaalikone on irrallinen ympäristö, jolla on oma käyttöjärjestelmänsä, ja jolla voidaan ajaa ohjelmia samalla tavalla kuin fyysisellä tietokoneella. Virtuaalikoneiden luomiseen ja ajamiseen käytettiin työssä VMware Workstation Pro -ohjelman 12 ja 15.5 -versioita. (VMware Glossary)

Virtuaalikoneiden käyttäminen mahdollisti useamman tietokoneen toimintojen suorittamisen samalla laitteella, jolloin koko ympäristön mallintamiseen tarvittiin vain yksi fyysinen tietokone. Virtuaalikoneet mahdollistivat myös usean eri Windows-käyttöjärjestelmän asentamisen mutkattomasti samalle tietokoneelle. Hyvänä puolena oli lisäksi virtuaalikoneista otettavat snapshotit, jotka tallentavat virtuaalikoneen sen hetkisen tilan, kovalevyn ja muistin tiedot sekä asetukset. Ratkaistaessa ongelmaa, joka vaati enemmän muutoksia, oli järjestelmä helppo palauttaa tallennettuun versioon, jos tehdyt muutokset eivät tuottaneet haluttua lopputulosta. Palauttaminen onnistui mihin tahansa kyseisestä virtuaalikoneesta otettuun snapshottiin, ei vain viimeisimpään (VMware Support). VMwaren voi lisäksi asettaa ottamaan automaattisesti snapshotteja puolen tunnin, tunnin tai päivän välin. Huonona puolena virtuaalikoneilla oli niiden isäntäkoneelta vaatima suorituskyky, eivätkä ne toimi yhtä nopeasti kuin fyysiset tietokoneet.

2.2 SIMIT-simulointiohjelmisto

2.2.1 SIMIT Simulation Platform, simulointialusta

SIMIT Simulation Platform on Siemensin luoma simulointialusta, jolla luodaan simulointimalleja PCS 7 -automaatiojärjestelmällä ohjattavista laitteista ja prosesseista. SIMITillä luoduilla prosessimalleilla on mahdollista suorittaa virtuaalisia käyttöönottoja, testata turvallisesti automaatiojärjestelmän ohjelmaan tehtyjä muutoksia sekä kouluttaa operaattoreita. SIMIT mahdollistaa simuloinnin käyttämällä fyysistä prosessiohjainta tai simuloitua prosessiohjainta. (Siemens Industry Online Support. 2018b)

2.2.2 SIMIT Virtual Controller, virtuaalinen prosessiohjain

SIMIT Virtual Controller on SIMITtin liitettävä virtuaalinen prosessiohjainkortti, joka mahdollistaa Siemensin SIMATIC S7-300- ja S7-400-sarjojen prosessiohjainkorttien mallintamisen Windows-ympäristössä. Virtual Controller vaatii toimiakseen yhteensopivan SIMIT-simulointialustan version. Virtual Controller tarjoaa PCS 7 -järjestelmän välisen kommunikoinnin lisäksi snapshottien ottamisen (prosessin sen hetkisen tilan tallentaminen). Virtual Controlleriin ladataan alkuperäinen PLC:n ohjelma. SIMIT on kytkettynä suoraan Virtual Contollerin tuloihin ja lähtöihin, jolloin SIMIT korvaa täysin prosessin fyysiset laitteet, kuten venttiili ja pumput. (Siemens Industry Online Support. 2014)

2.2.3 FLOWNET-prosessinmallinnuskirjasto

FLOWNET on SIMITtiin lisättävä kirjasto, joka antaa mahdollisuuden luoda putkiverkostoista simulointimalleja hyödyntäen väliainemallinnusta. Kirjaston tarkoituksena ei ole luoda tarkkoja malleja prosesseista vaan tarjota helposti luotava, mutta riittävän tarkka malli virtuaalista käyttöönottoa varten. Esimerkiksi työssä ei ole simulointimallin kannalta oleellista, muuttuuko ilmavirtauksen suuruus yhtä

nopeasti kuin todellisessa prosessissa. (Siemens Industry Online Support. 2018b)

2.3 PCS 7 -prosessinohjausjärjestelmä

PCS 7 on Siemensin prosessinohjausjärjestelmä, joka pitää sisällään työkaluja muun muassa laitteiston määrittämiseen, lohko- ja sekvenssikaavioiden tekemiseen sekä operointiaseman määrittämiseen. PCS 7 -projektin luomisen keskipisteenä toimii SIMATIC Manager -sovellus, jonka kautta pääsee käsiksi kaikkiin projektin määrittämisessä tarvittaviin työkaluihin. Tässä työssä käytettyjä työkaluja olivat HW Config -laitteistonmäärittelytyökalu, NetPro-verkonmäärittelytyökalu sekä CFC Editor -toimilohkokaavioiden muokkaustyökalu. (Siemens Industry Online Support. 2018a)

2.4 SIMATIC WinCC -valvomo-ohjelmisto

SIMATIC WinCC on Siemensin valvomo-ohjelmisto, joka mahdollistaa käyttöliittymien luonnin prosessien ohjaamiseen ja monitorointiin. Visuaaliseen käyttöliittymään voidaan asettaa operoitavat prosessit, koneet sekä materiaalivirrat. Valvomosta voidaan ohjaamisen ja monitoroinnin lisäksi kuitata tapahtumia sekä arkistoida prosessitietoja, kuten mittaustiedot, hälytykset sekä prosessin ajossa tehdyt muutokset. WinCC:llä voidaan toteuttaa käyttöliittymät yhden käyttäjän valvomoista monikäyttäjäjärjestelmiin, joissa on redundanttiset serverit sekä ohjattavuus monesta eri paikasta. WinCC mahdollistaa lisäksi monien eri käyttöliittymien ohjaamisen yhdestä paikasta. (Siemens)

3 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN ASEMAT

3.1 Engineering Station (ES), Suunnitteluasema

Suunnitteluasema on tietokone, joka vastaa automaatiojärjestelmän sovellusten hallinnasta. Suunnitteluasemalla tapahtuu automaatiojärjestelmän sekä operointiaseman ohjelmien luominen, muokkaaminen ja lataaminen. Lisäksi suunnitteluasemalla tapahtuu automaatiojärjestelmän asemien välisten yhteyksien luonti.

3.2 Operator Station (OS), operointiasema

Operointiasema on tietokone, joka toimii automaatiojärjestelmässä prosessinhoitajan eli operaattorin ja prosessin välisenä rajapintana. Operointiasema, jolle on asennettu valvomo-ohjelmisto mahdollistaa prosessin tietojen näyttämisen ja prosessin ohjaamisen.

Työssä mallinnetussa ympäristössä oli käytössä operointiserverin ja operointiaseman muodostama arkkitehtuuri, jossa yhteen projektiin on liitetty useamman prosessin ohjaus. Operointiserveri on yhteydessä prosessiin ja hankkii sekä tallentaa prosessiarvot ja prosessista luodut viestit. Käytössä olleella operointiserverillä ei ollut lainkaan visuaalista käyttöliittymää. Operointiasema saa tiedot prosessin tilasta operointiserveriltä. Ohjattaessa prosessia operointiasemalta ohjaus lähetetään operointiserverille, joka välittää sen eteenpäin prosessiasemalle. (Siemens Industry Online Support. 2016b)

3.3 Automation Station, (AS), prosessiasema

Prosessiasema on automaatiojärjestelmän ydin ja se vastaa prosessin tärkeimmistä toiminnoista eli itse prosessin ohjaamisesta. Prosessiasema kerää prosessin tuottamat mittaus- ja tilatiedot ja lähettää niitä eteenpäin operointiasemalle. Kerättyjen tietojen avulla prosessiasema ohjaa prosessia sekvenssien sekä säätöjen, esimerkiksi PID-säädön avulla.

4 SIMULOINTIYMPÄRISTÖ

4.1 Leijurakeistin

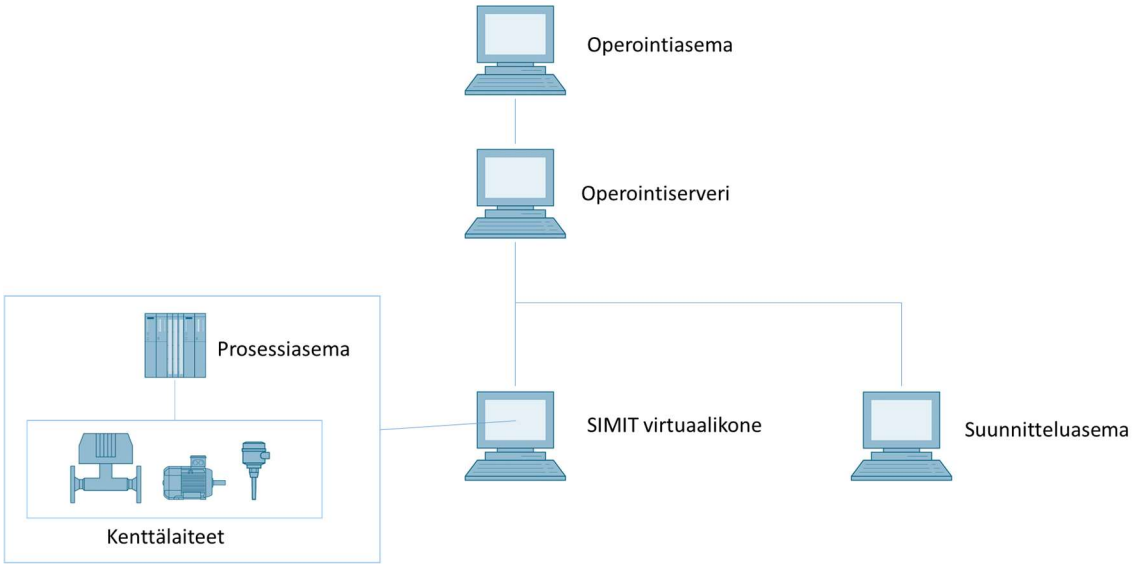
Leijurakeistin muodostaa lääkkeiden raaka-ainejauheista rakeita tablettien painamista varten. Leijurakeistimessa tablettien raaka-ainejauheet imetään leijurakeistimeen, jonka jälkeen raaka-aineet sekoitetaan ilmavirran avulla. Leijuvaan raaka-ainemassaan sumutetaan rakeistusnestettä, joka saa eri raaka-aineet liittymään toisiinsa, jota seuraa massan rakeistumisen. Rakeistunut massa kuivataan lämpimällä ilmalla, jonka jälkeen rakeet siirretään kuljetusastiaan.

Leijurakeistimen prosessinohjaus sisältää kaikki tuotannon toiminnot, mm. täytön, sumutuksen ja tyhjennyksen. Opinnäytetyö rajattiin leijurakeistimen ilmankäsittelyn ylösajon ohjausten mallintamiseen. Ilmankäsittely varmistaa, että rakeistuksessa käytettävän ilman ominaisuudet, kuten kosteus, lämpötila ja paine, pysyvät niille asetetuissa rajoissa.

4.2 Simulointimallin tietokoneet

Mallinnettava ympäristö koostui neljästä eri tietokoneesta, jotka olivat suunnitteluasema (ES), kaksi redundanttisesta operointiserveriä (OS Server) sekä operointiasema (OS Client). Mallin yksinkertaistamiseksi jätettiin toinen operointiserveri mallintamatta. Oikeassa ympäristössä käytetään kahta serveriä datan säilymisen varmistamiseksi häiriötilanteissa.

Jokaista kentällä olevaa tietokonetta kohden luotiin oma virtuaalikone, joka mahdollisti simulointimallin käyttämisen yhdellä tietokoneella. Lisäksi luotiin virtuaalikone, jolla käytettiin prosessia mallintavaa SIMITiä sekä Virtual Contolleria.



KUVA 1. Virtuaalikoneiden kokonaisuus

4.3 Simulointiympäristön muodostaminen

Ensin virtuaalinen ympäristö yritettiin muodostaa hyödyntäen olemassa olevia asennuksia. Tämä tapahtui ottamalla asennuksista P2V-kopio (fyysisen tietokoneen kopiointi virtuaalikoneeksi) siihen tarkoitetulla erillisellä ohjelmalla. Kopiot olivat avattavissa suoraan VMwaressa. Näin olisi vältytty jokaisen aseman uudelleen asentamiselta. Kopioitujen asemien välisen yhteyden muodostamiseksi vaihdettiin asemat osaksi samaa työryhmää (Workgroup) virtuaalikoneiden järjestelmäasetuksista. Seuraavaksi varmistettiin, että koneiden väliset kansiojaot ovat kunnossa ja jokaisella koneella oli saman niminen käyttäjä.

Suoraan kopioituja järjestelmiä käytettäessä virtuaalikoneiden välinen yhteys toimi määrittelymuutosten jälkeen, mutta kävi nopeasti ilmi, että teollisuustietokoneiden järjestelmien suora kopiointi normaaliin tietokoneeseen ei ole toimiva ratkaisu. Ohjelmat toimivat todella hitaasti ja niiden sulava käyttö ei ollut mahdollista.

Käytettävyyden parantamiseksi luotiin jokainen virtuaalikone asentamalla puhtaisiin Windows-virtuaalikäyttöjärjestelmiin tarvittavat ohjelmat. Myöhemmin fyysisten koneiden virtuaalikopioista oli hyötyä muun muassa ohjelmalistojen, IP-osoitteiden ja muiden määrittelyiden tarkistamisen muodossa. Vaikka puhtaan virtu-

aalikoneen toimintaan saamiseen kului tunteja, voidaan tätä tapaa suositella käytettäväksi tulevaisuudessa. Lisäksi jo asennettuja virtuaalikoneita voidaan hyödyntää uudelleen, jos seuraavaksi mallinnettavassa prosessissa on käytössä samat ohjelmistoversiot.

5 VIRTUAALIKONEIDEN KÄYTÖÖNOTTO

5.1 Virtuaalikoneiden käyttöjärjestelmien asennus

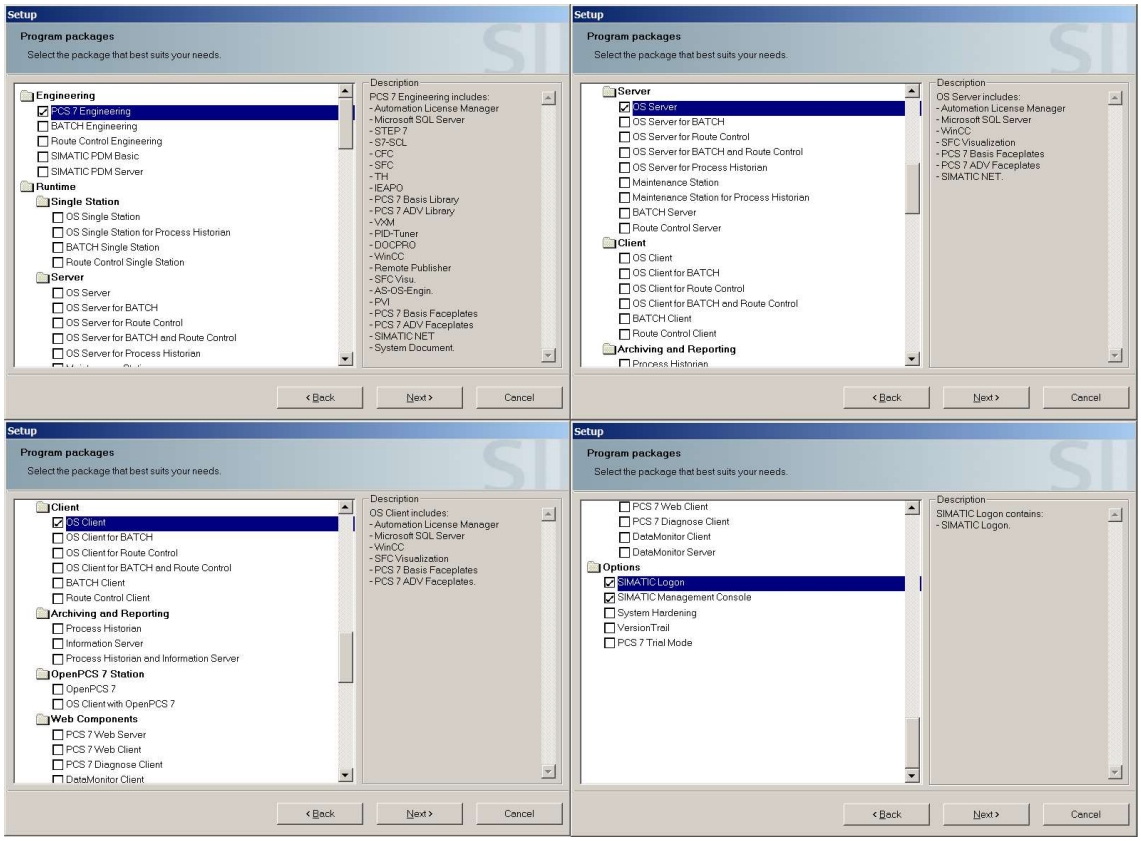
Simulointiympäristöä varten luotiin neljä uutta virtuaalikonetta. Yksi Windows 7-virtuaalikone PCS 7 -ohjelmistolle, kaksi Windows Server 2008 R2 -virtuaalikonetta WinCC Server- ja Client-ohjelmistoille sekä yksi Windows 10 -virtuaalikone SIMIT-ohjelmistolle. SIMITin asentaminen fyysiselle tietokoneelle olisi ollut mahdollista, mutta ympäristön siirrettävyyden helpottamiseksi kaikki virtuaalikoneet asennettiin ulkoiselle SSD-kovalevylle.

Virtuaalikoneet luotiin VMware Workstation Pro -virtualisointiohjelmalla. Käyttöjärjestelmän asentamiseksi vaadittiin sen asennusmedia. Asennettaessa virtuaalikoneiden käyttöjärjestelmiä annettiin jokaisen virtuaalikoneen asennuksen yhteydessä luotavalle käyttäjälle sama nimi, käyttöoikeuksien määrittelemisen helpottamiseksi. Asennusvaiheessa virtuaalikoneelle annettiin nimi ja tehtiin laitteistomäärittelyt. Virtuaalikonetta luotaessa oli tärkeä antaa sille riittävästi kovalevytilaa, jotta kaikki tarvittavat ohjelmat pystyttiin asentamaan. Kovalevytilan lisääminen onnistui myös myöhemmin, mutta silloin täytyi käydä yhdistämässä lisätty tila aikaisemmin luotuun kovalevyyn Windowsin Computer Management -työkalulla.

5.2 Virtuaalikoneiden ohjelmistojen asennus

Suunnittelu- ja operointiaseman sekä operointiserverin ohjelmistojen asentamiseen käytetyt asennuspaketit löytyivät käytössä olleilta SIMATIC PCS 7 -asennuslevyiltä. Suunnitteluasemalle asennettiin PCS 7 Engineering -paketti, operointiserverille OS Server -paketti ja operointiasemalle OS Client -paketti. Lisäksi kaikkiin virtuaalikoneisiin asennettiin SIMATIC Logon- sekä SIMATIC Management Console -paketit. Asennuspakettien sisällöt ovat nähtävissä kuvassa 2.

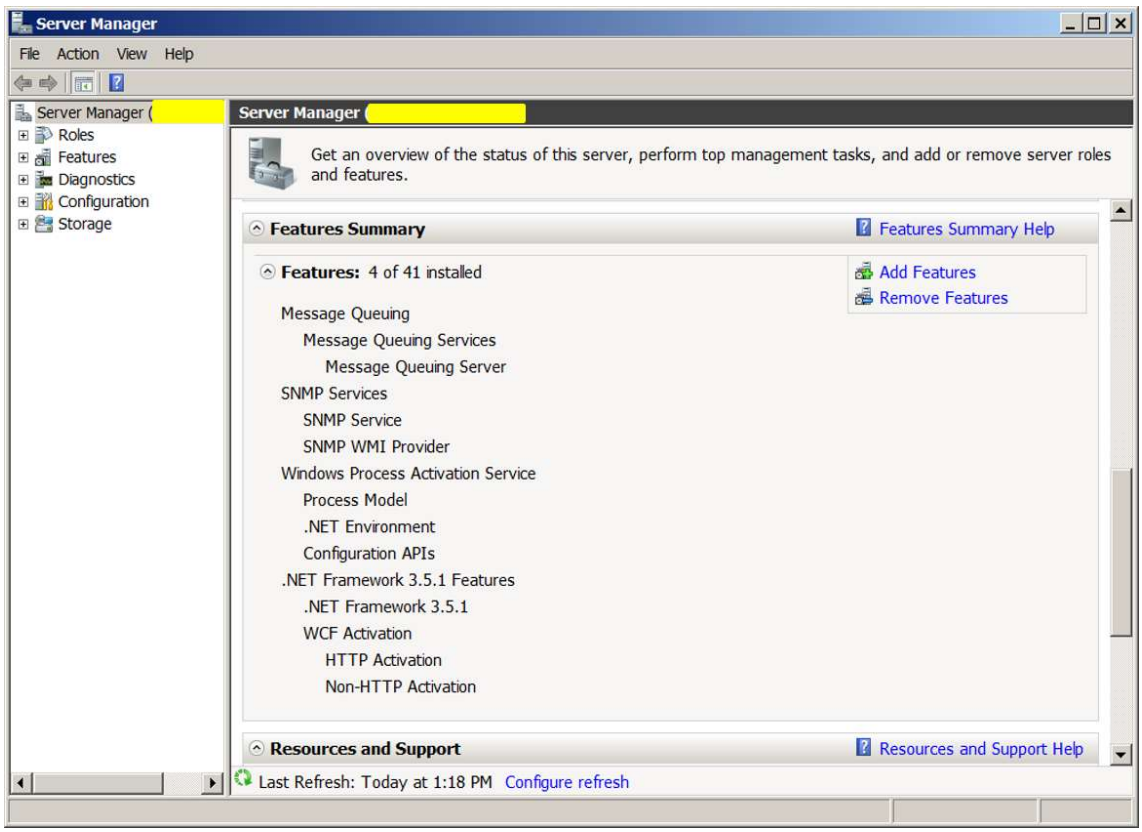
Ohjelmia asennettaessa tuli huomioida, että tietokone tulee käynnistää useasti uudelleen ja kesken asennusta tarvitsee vaihtaa toinen asennuslevy käyttöön. Näin ollen tietokonetta ei voinut vain jättää asentumaan itsekseen.



KUVA 2. Virtuaalikoneiden PCS 7 -asennuspaketit

Pakettien asentamisen jälkeen asennettiin erikseen saatavilla olleet versiopäivitykset, jotta ohjelmaversiot ovat samat kuin fyysisessä ympäristössä. Näin varmistuttiin valvomo- ja prosessinohjausprojektien yhteensopivuudesta. SIMIT-virtuaalikoneeseen asennettiin SIMIT-ohjelmisto.

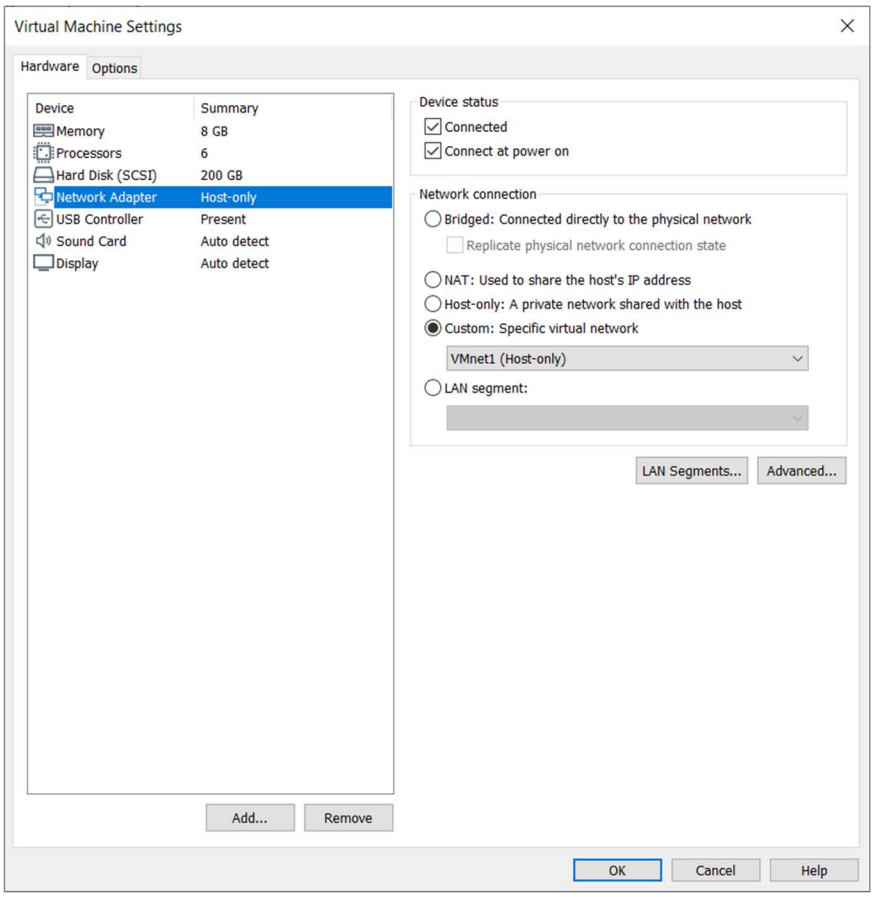
Operointiserverin ja -aseman asennuspaketteja asennettaessa ohjelma ilmoitti, että Windowsista puuttuvat seuraavat ominaisuudet: ’.NET Framework 3.5 SP1’, ’Messaging Queueing’ ja ’SNMP Services’. Toiminnot asennettiin Windowsin Server Managerin kautta (kuva 3).



KUVA 3. Operointiserveriin ja -asemaan asennetut toiminnot. Luottamukselliset tiedot peitetty keltaisella laatikolla.

5.3 Virtuaalikoneiden verkkoasetusten määritys

Kun käyttöjärjestelmät oli asennettu, käytiin ensimmäisenä muuttamassa virtuaalikoneiden nimet samoiksi kuin fyyisessä ympäristössä. Samalla asetettiin kaikki virtuaalikoneet osaksi samaa työryhmää. Lisäksi määriteltiin virtuaalikoneiden IP-osoitteet vastaaman automaatiojärjestelmän osoitteita. IP-osoitetta vaihdettaessa otettiin lisäksi bluetooth-verkkokortti pois käytöstä. Kun käytettiin samoja osoitteita kuin fyysisessä ympäristössä, vältyttiin PCS 7 -projektin IP-osoitteiden uudelleen määrittelyltä. Kaikki virtuaalikoneet määritettiin osaksi samaa Host-only -verkkoa VMwaren asetuksista (kuva 4), jolloin ne keskustelivat keskenään isäntäkoneelle automaattiesti luodun virtuaalikytkimen kautta.

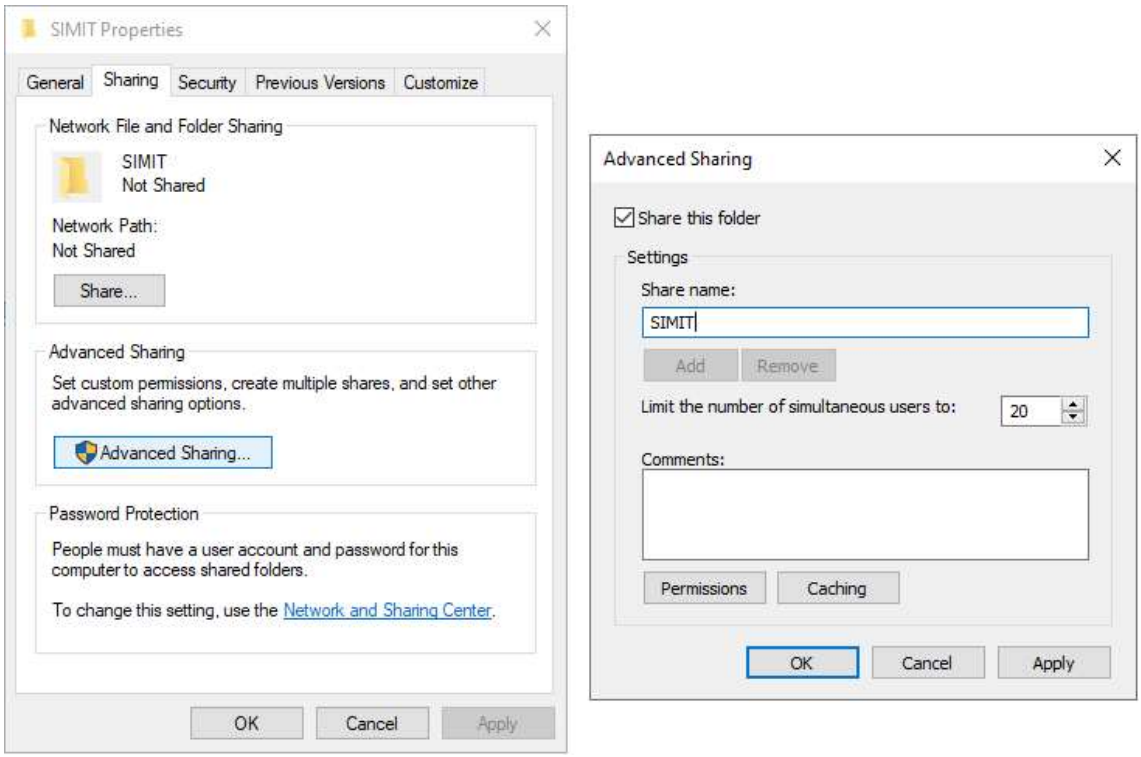


KUVA 4. VMwaren verkkoasetukset

5.4 Virtuaalikoneiden kansiojako ja käyttäjäoikeudet

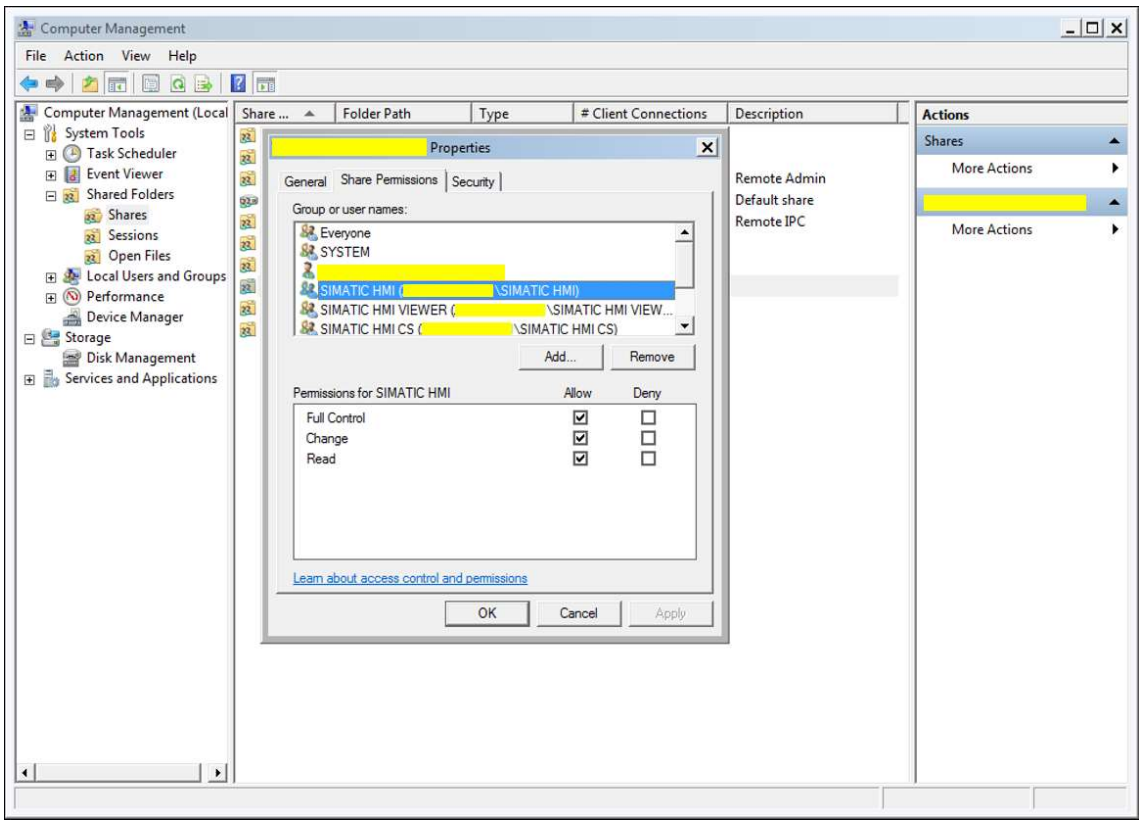
Valvomoprojektien lataamiseksi operointiserverille ja -asemalle täytyi suunnitteluasemalla olla pääsy niiden projektikansioihin. Tätä varten puhtaille virtuaalikoneille tuotiin alkuperäiset projektikansiot, jotka asetettiin jakoon suunnitteluasemalla sekä operointiserverillä ja -asemalla. Valvomoprojektin kansioiden jakaminen tapahtui Windowsin ’Advanced sharing’ -toimintoa käyttäen. Kansiojaon toimimiseksi tuli kaikille käyttäjille olla asetettuna salasanat. Lisäksi kaikilla virtuaalikoneilla asetettiin ’Network Discovery’ -toiminto päälle, jotta koneet löysivät toistensa tiedostot. Serverikäyttöjärjestelmillä tämä vaati, että ’DNS Client’, ’Function Discovery’, ’SSDP Discovery’ ja ’UPnP device Host’ -palvelut käytiin asettamassa päälle. (Microsoft Support). Tämä tapahtui Windowsin Services -työkalulla, joka löytyi muun muassa tehtävienhallinnasta.

Kansio asetettiin jakoon painamalla kansiota hiiren oikealla painikkeella, jonka jälkeen valittiin ’Properties’ ja avautuvasta ikkunasta ’Sharing’ välilehdeltä ’Advanced sharing’. Jaettavalle kansiolle annetaan erikseen jakoon käytettävä nimi, jonka tuli olla sama kuin alkuperäisessä järjestelmässä (kuva 5). Tämä oli tärkeää koska PCS 7 -projektissa on määritetty, minne kansioon valvomoprojektit ladataan.



KUVA 5. ’Advanced Sharing’ -kansiojako

Seuraavaksi asetettiin Computer Management -työkalusta ’Shared Folder’ kohdan alta löytyvästä ’Shares’ -valikosta, PCS 7 -järjestelmän luomalle SIMATIC HMI -ryhmälle oikeudet jaetun kansion käyttöön (kuva 6).



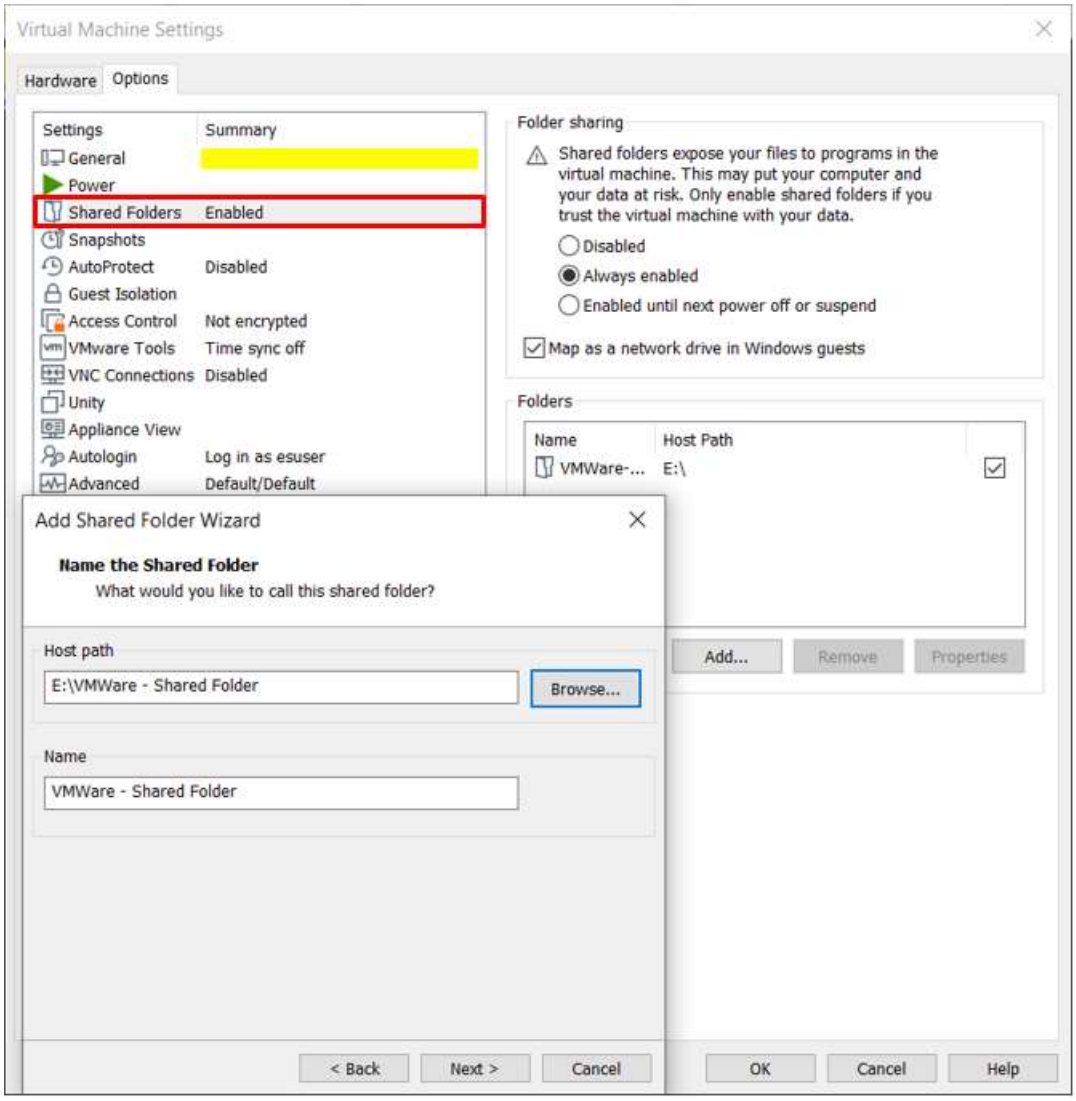
KUVA 6. Kansiojaon käyttäjäoikeudet. Luottamukselliset tiedot peitetty keltaisilla laatikoilla.

Samalla asetettiin jokaisella virtuaalikoneella Windowsin Computer Management -työkaluun sisältyvän ’Local Users and Groups’ -toiminnon kautta käyttäjä osaksi SIMATIC HMI -ryhmää, jotta käyttäjällä on kansiojakojen lisäksi oikeudet PCS 7 -järjestelmän toimintojen suorittamiseen. (Siemens Industry Online Support 2017c.)

5.5 Virtuaalikoneiden kesken jaettu kansio

Tiedostojen siirtämiseksi virtuaalikoneelta toiselle luotiin isäntäkoneelle kansio, johon lisättiin pääsy erikseen virtuaalikoneiden asetuksista. Kansiojaon asetusten muokkaamiseksi virtuaalikoneen ollessa päällä asennettiin jokaiselle virtuaalikoneelle VMware Tools -työkalu, joka oli asennettavissa ilman erillistä latausta. Asentaminen tapahtui valitsemalla VMwaren yläpalkista ’VM’ ja avautuvasta valikosta ’Install VMware Tools…’. Tämä toiminto lisää automaattisesti VMware

Toolsin virtuaalikoneen Dvd-asemaksi. Jos asennus ei käynnistynyt automaattisesti, se käynnistettiin valitsemalla tiedostohallinnasta Dvd-asema.



KUVA 7. Isäntäkoneen kansion jakaminen virtuaalikoneelle. Luottamukselliset tiedot peitetty keltaisella laatikolla.

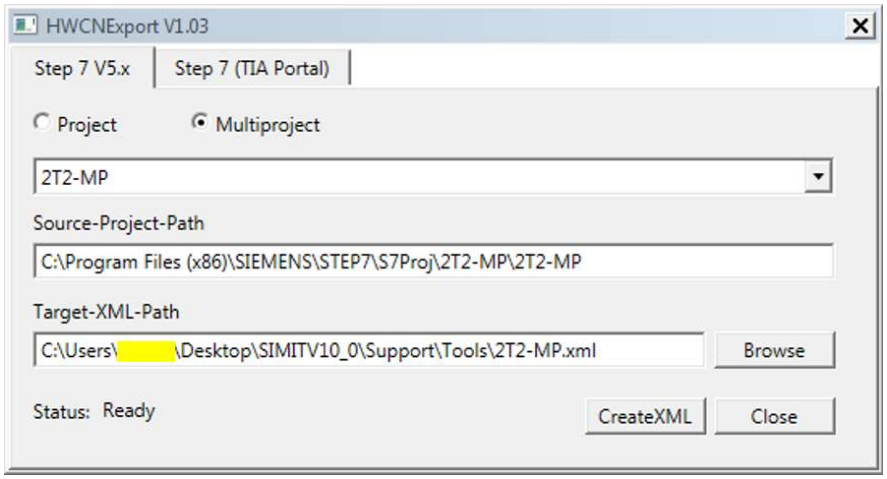
6 SIMIT-PROJEKTIN LUOMINEN

6.1 PCS 7 -projektin valmistelu

Ennen SIMIT-projektin luomista purettiin (retrieve) suunnitteluasemalle leijurakeistimen PCS 7-projekti. Puretun projektin laitteistomäärittelyistä ja muuttujista sekä lohkokaaviosta luotiin xml-tiedostot SIMIT-projektia varten. Laitteistomäärittelyn ja muuttujien tuominen SIMIT-projektiin on Virtual Controllerin toiminnan kannalta pakollista.

6.2 HWCNExport, laitteistomäärittelyn ja muuttujien vienti -työkalu

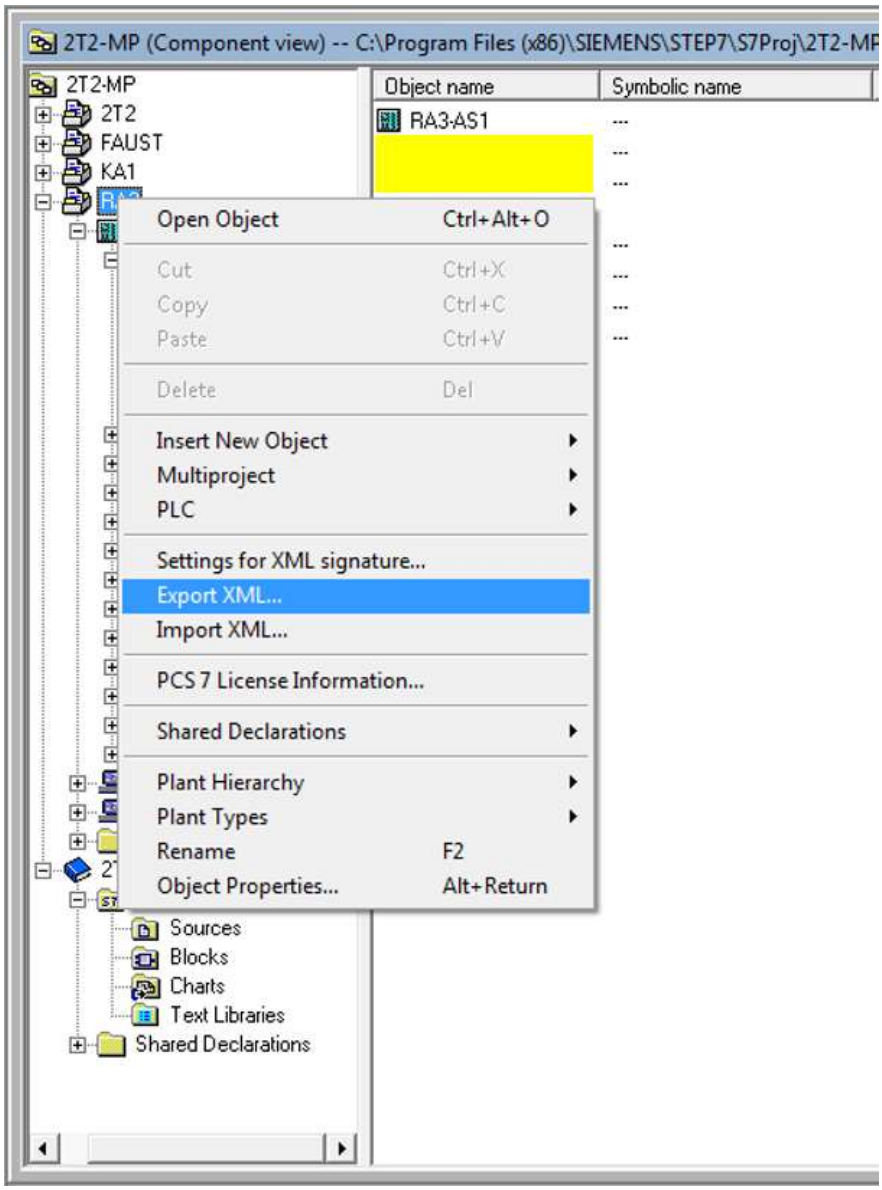
Laitteistomäärittelystä ja muuttujista luotiin xml-tiedosto SIMITin asennusmedioihin sisältyvällä HWCNExport-työkalulla (kuva 8). Työkalu kopioitiin suunnitteluasemalle SIMITin Support-kansion alla olevasta Tools-kansiosta. HWCNExportista valittiin Step 7 V5.x -projektin xml-tiedoston luonti. Xml-tiedosto pitää sisällään tiedot jokaisesta laitteiston komponentista sekä muuttujasta. Projektista luotu xml-tiedosto siirrettiin SIMIT-virtuaalikoneelle virtuaalikoneiden kesken jaettuun kansion kautta.



KUVA 8. Muuttujien vienti -tiedoston luominen. Luottamukselliset tiedot peitetty keltaisella laatikolla.

6.3 XMLTransfer, lohkokaavion vienti -työkalu

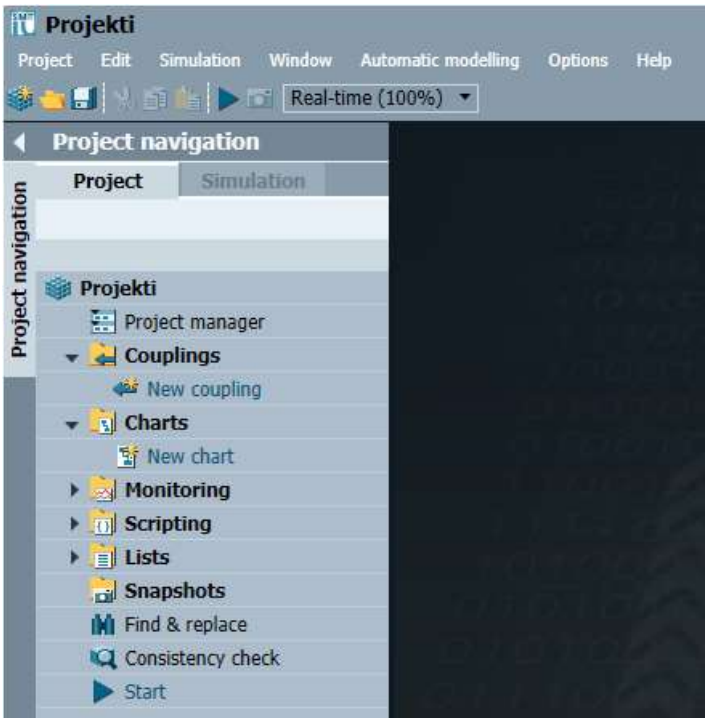
PCS 7 -projektin toimilohkokaaviot muutettiin xml-tiedostoksi Simatic Manageriin lisättävällä XMLTrarnsfer-työkalulla, joka asennettiin Siemensin Industry Support -sivun kautta. Xml-tiedostojen luonti tapahtui painamalla hiiren oikealla painikkeella rakeistimen projektia multiprojektilistasta ja valitsemalla ’Export XML’ (kuva 9).



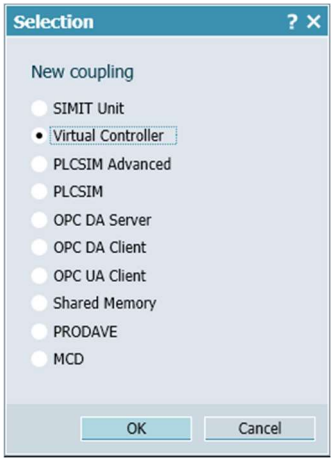
KUVA 9. Lohkokaavioiden xml-tiedoston luonti. Luottamukselliset tiedot peitetty keltaisella laatikolla.

6.4 Projektin luominen SIMITissä

Uuden SIMIT-projektin luominen tapahtui portal-näkymässä. Projektille annettiin nimi sekä haluttaessa luoja sekä vapaavalintainen kommentti. Seuraavaksi siirryttiin projektinäkymään ja valittiin projektiin liitettävä automaatiojärjestelmä avaamalla vasemman reunan palkista ’Couplings’-välilehden alta ’New coupling’ (kuva 10). Työssä muuttujia ohjattiin Virtual Controllerilla, joten valittiin se kuvan 11 listasta.

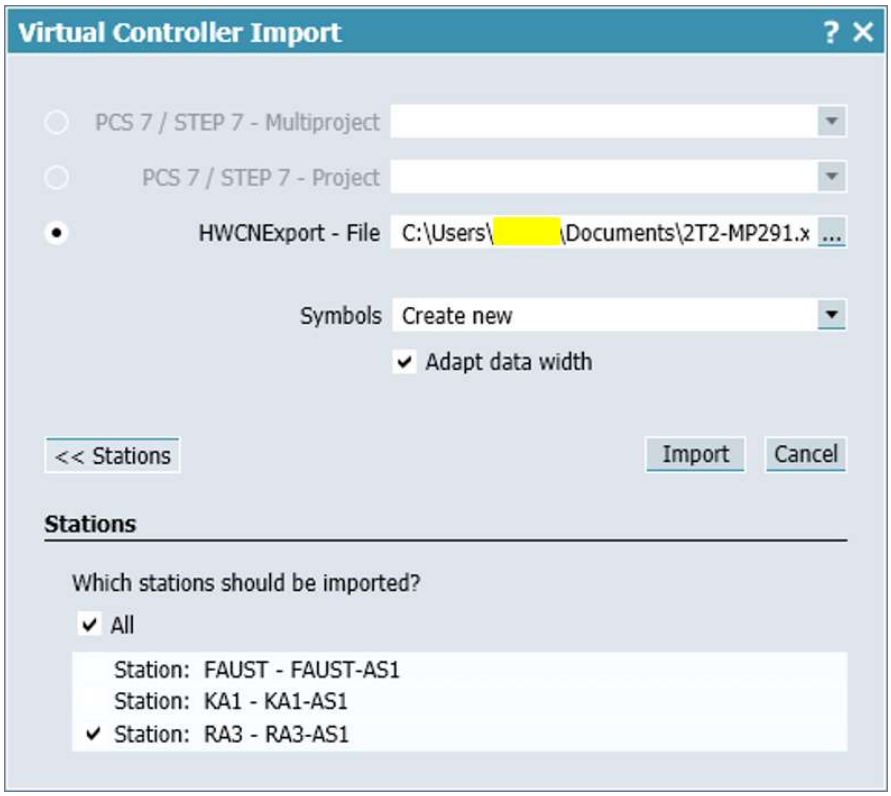


KUVA 10. SIMITin vasemman reunan valikko



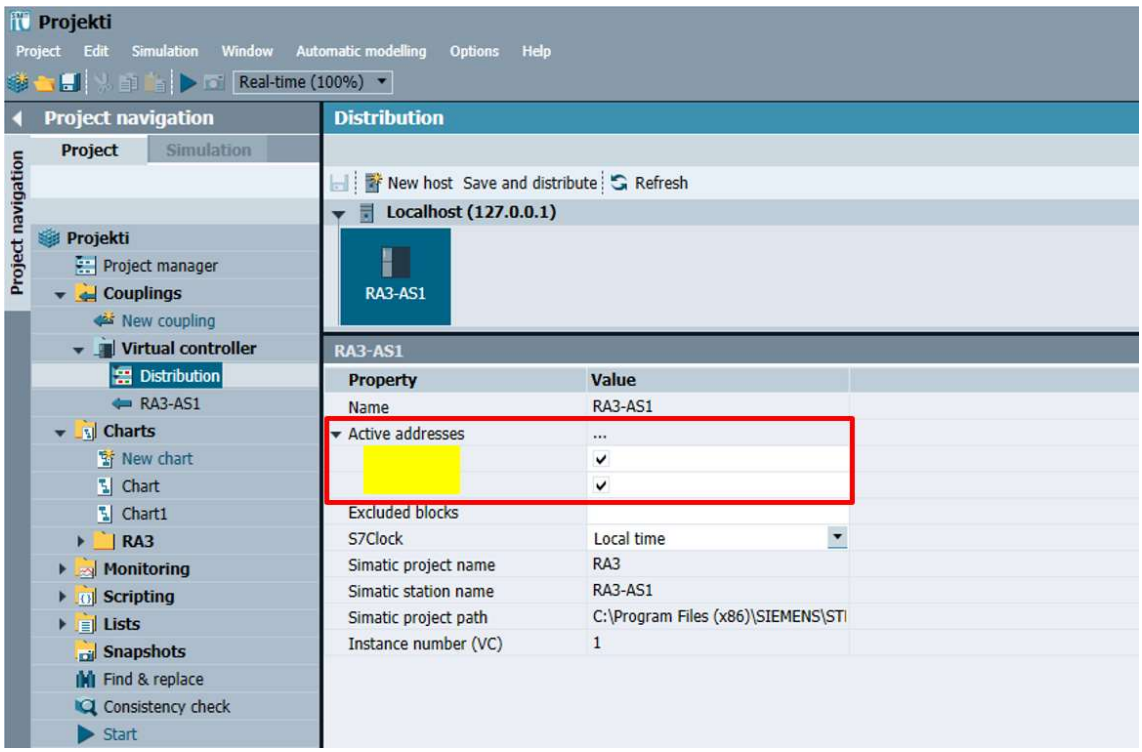
KUVA 11. Automaatiojärjestelmän liittämistavan valinta

Seuraavaksi asetettiin ’HWCNExport - File’ -kohtaan aikaisemmin luotu laitteistomäärittelyn ja muuttujien xml-tiedosto. Määrittely oli luotu multiprojektista, joten avattiin vasemman alareunan ’Stations’-painikkeesta lista projektin prosessiasemista ja valittiin listasta RA3 (kuva 12).



KUVA 12. Laitteistomäärittelyn ja muuttujien tuonti Virtual Controllerille. Luottamukselliset tiedot peitetty keltaisella laatikolla.

Seuraavaksi valittiin vasemmalta Virtual Controllerin alta ’Distribution’ ja painettiin tuotua automaatiojärjestelmää. Alareunasta nähtiin automaatiojärjestelmän IP-osoitteet (kuva 13), joita Virtual Controller käyttää kommunikointiin Profinet-verkon sekä valvomon kanssa. Nämä osoitteet lisättiin SIMIT-virtuaalikoneen IP-osoitteisiin Network and Sharing Centeristä.



KUVA 13. Virtual Controllerin IP-osoitteet. Luottamukselliset tiedot peitetty keltaisella laatikolla.

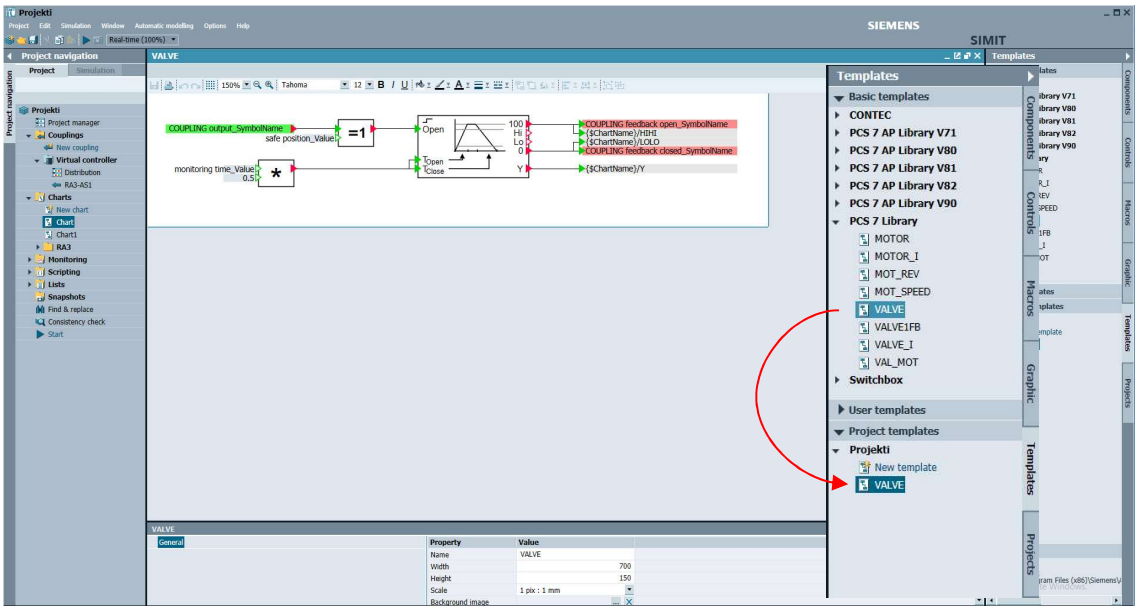
6.5 Lohkokaaviopohjien luonti

Kun automaatiojärjestelmän määrittelyt oli tehty, aloitettiin lohkokaavioiden pohjien (Templates) luominen. Pohjien perusteella SIMIT osaa lukea toimilohkokaaviossa käytettyjen kytkentäpisteiden I/O-osoitteet tapauksissa, joissa PCS 7-lohkokaaviot perustuvat PCS 7 -projektin kirjastoon luotuihin pohjiin. Lohkokaaviopohjien luomisessa oli mahdollista käyttää hyödyksi valmiita pohjia tai ne voitiin luoda tuomalla itse halutut komponentit. Pohjat oli luotavissa joko projekti- tai käyttäjäkohtaisiksi.

Perusajatuksena SIMIT-toimilohkokaavioilla on, että vasemmalle tuodaan vihreät lähtösignaalit prosessiohjaimelta, keskelle asetetaan simulointilohko ja oikealle asetetaan punaiset tulot prosessiohjaimelle. Lisäksi oikealle voidaan sijoittaa harmaita SIMIT-projektin sisäisiä signaaleja.

Ensimmäisenä luotiin pohja kaksitieventtiilille. Pohjan luomiseksi tehtiin uusi lohkokaavio (chart), jotta oikean reunan palkista saatiin avattua Templates-välilehti.

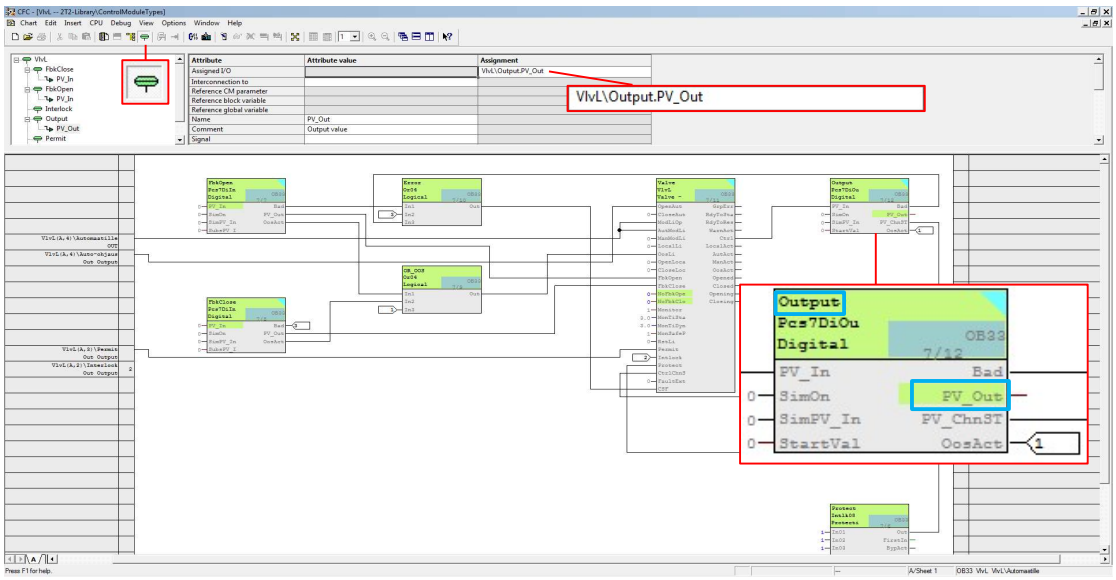
Välilehdeltä etsittiin PCS 7 Libraryn alta löytyvä valmis VALVE-pohja ja raahattiin se omiin pohjiin, jotta se on muokattavissa (kuva 14).



KUVA 14. Venttiililohkon pohja ja sen siirtäminen

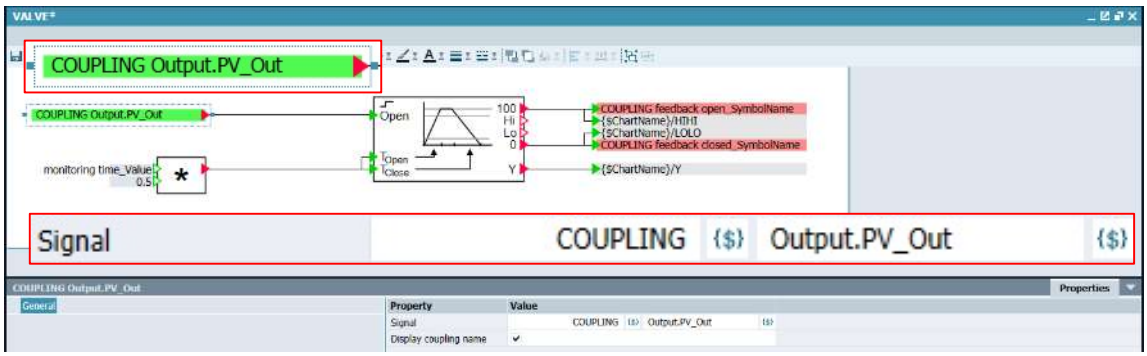
Pohjasta poistettiin ensin turva-asennon XOR-lohko, koska se ei ole simuloinnin kannalta välttämätön. Sisäistä Y-signaalia käytettiin myöhemmin luotavan prosessimallin venttiilin ohjaamiseen. SIMITin sisäisten signaalien nimissä olevan {$ChartName} -merkinnän avulla SIMIT noutaa lohkokaavion nimen signaaliin pohjia kopioitaessa. Sulkujen ulkopuolella oleva muu teksti siirtyy pohjan avulla luotuun kaavioon. Työn edetessä huomattiin, että signaalien nimeämisen lisäksi lohkokaavion nimen automaattista noutamista voidaan hyödyntää myös komponenttien nimeämisessä.

Seuraavaksi avattiin suunnitteluasemalla PCS 7 -projekti ja sen kirjastosta venttiilin lohkokaaviopohja. Pohjasta nähdään, kuinka SIMIT-signaalit täytyy nimetä, jotta pohjat toimivat oikein. SIMIT-signaaliin liitettävä nimi voitiin lukea joko lohkoista ja niiden porteista tai hyödyntämällä yläpalkista löytyvää Technological I/Os -toimintoa. Kuvassa 14 on esitetty molemmat tavat signaalien nimien löytämiselle. SIMITin lohkokaaviopohja nimettiin PCS 7 -pohjan mukaan.



KUVA 15. Venttiilin ohjaussignaalinen nimen lukeminen lohkokaaviosta

Kuvassa 16 nähdään ulkoisen signaalin tekstikenttien perässä oleva $-merkki. Merkin ollessa aktiivinen vasemmanpuoleisessa kentässä oleva COUPLING noutaa automaattisesti projektiin linkitetyn automaatiojärjestelmän prosessiohjaimen nimen. Oikeanpuoleiseen kenttään asetettiin PCS 7 -pohjan lohkon ja portin nimi. Näin saatiin tuotua PCS 7-lohkokaaviossa käytetty I/O-osoite SIMITiin. Venttiilin ohjaussignaali sekä auki ja kiinni -tiedot nimettiin samalla periaatteella.

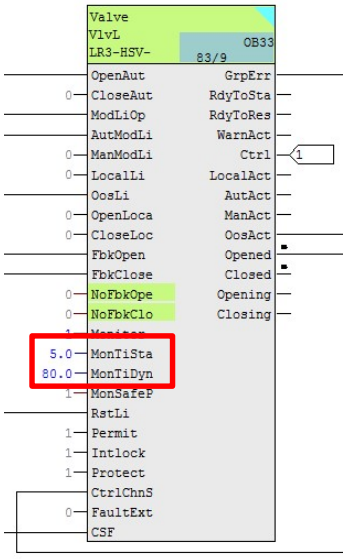


KUVA 16. Venttiilin ohjauksen määritys

Lisäksi tarkistettiin venttiilin ohjauslohkosta monitorointiajat, koska niitä ei ollut sisällytetty venttiilin pohjaan. Monitoroinnilla valvotaan venttiilin toimintaa. Venttiililohkon TOpen ja TClose määrittävät venttiilin avautumis- ja sulkeutumisajat. Pohjassa on käytetty kertolaskua lohkoa monitoroinnin odotetun aukeamisajan

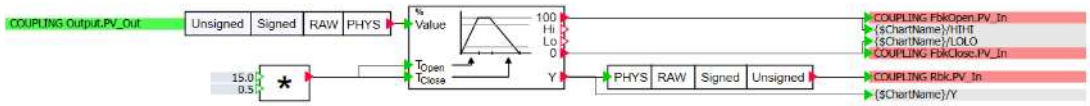
puolittamiseen. Kuvasta 17 nähdään, että venttiilin ei odotetun monitoroinnin alaraja on viisi sekuntia (MonTiSta) ja odotetun monitoroinnin yläraja on 80 sekuntia (MonTiDyn).

Kerroinlohkon sijaan avautumis- ja sulkeutumisajat voidaan syöttää myös suoraan lohkon portteihin (kuva 16). Aukeamisaika valittiin lyhyeksi, jotta venttiili aukeaa ja sulkeutuu nopeasti testaamisen helpottamiseksi. Lopuksi SIMITin venttiilipohjan nimi muutettiin vastaamaan PCS 7:n pohjan nimeä.



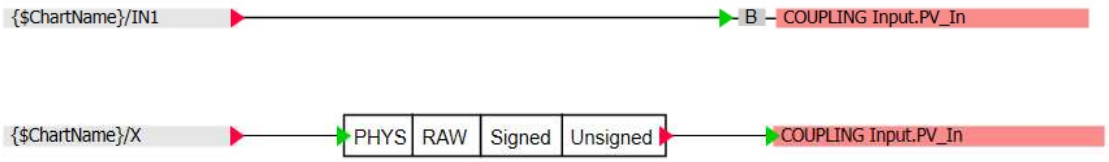
KUVA 17. Monitorointiajat venttiililohkossa

Säätöventtiilille luotiin oma lohkonsa (kuva 18), jonka erona kaksitieventtiiliin on simulointilohkon lisäksi, että ohjaussignaali muutettiin ensin etumerkittömästä etumerkilliseksi ja sen jälkeen logiikan käyttämästä raaka-arvosta prosessiarvoksi. Säätöventtiilin ohjausta varten muutettiin 16-bittinen kokonaisluku prosenteiksi. Takaisinkytkennälle toteutettiin prosessiarvon muutos raaka-arvoksi ja etumerkillisestä etumerkittömäksi. Etumerkinmuunnoslohkolla voitiin määrittää käytetyn datan leveys.



KUVA 18. Säätöventtiilipohja

Binääristen tilatietojen pohjassa binääriviesti vietiin suoraan I/O-osoitteiseen. Analogiamittauspohjassa tehtiin muunnos prosessiarvosta etumerkittömäksi raaka-arvoksi (kuva 19).

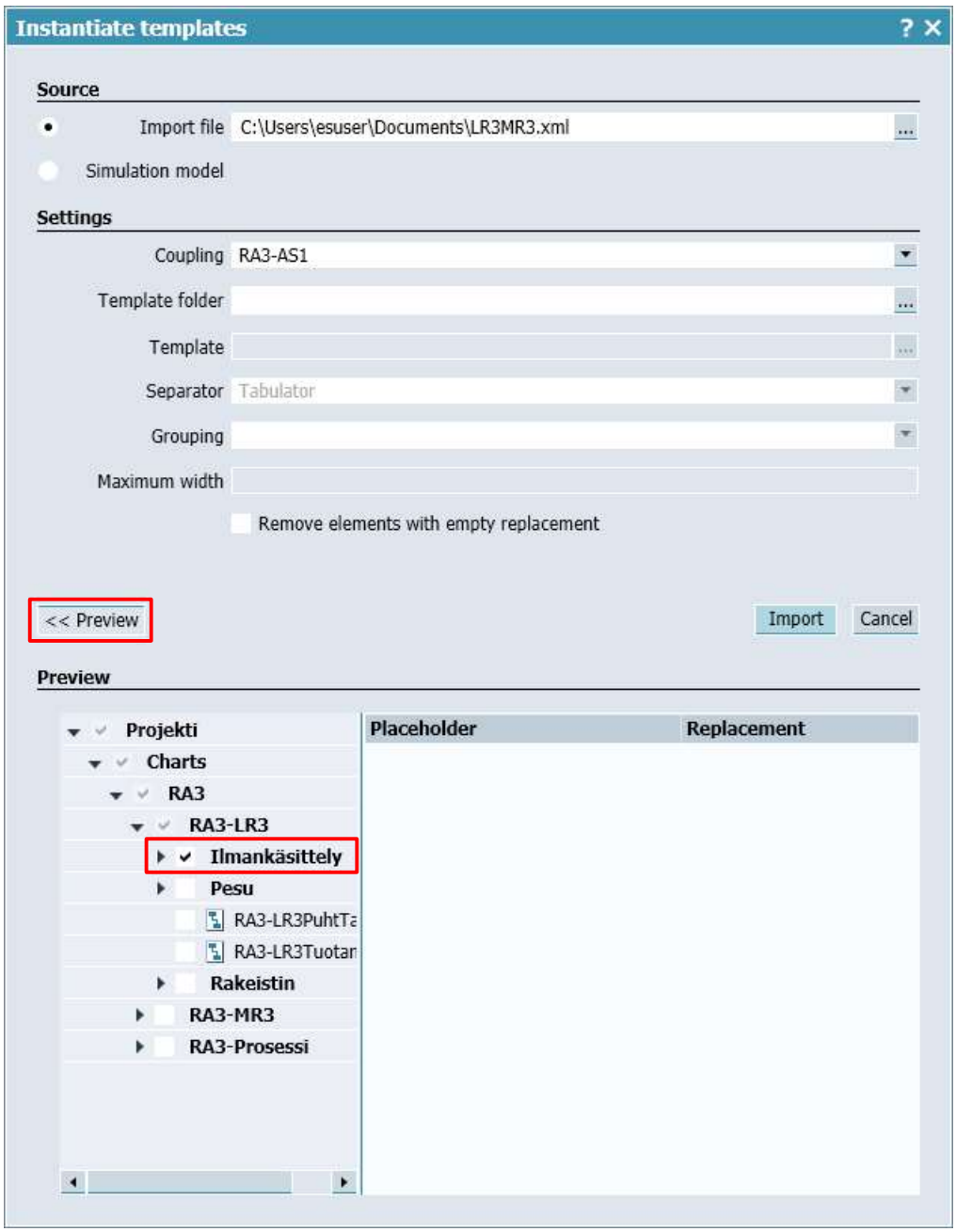


KUVA 19. Binääritiedon ja analogiamittauksen pohjat

Pohjia voidaan luoda myös esimerkiksi moottorikäytöille ja säätimille. Tässä projektissa tarvittavia moottoreita oli vain muutama, joten ne luotiin myöhemmin erikseen. Seuraavaksi muodostettiin pohjista SIMIT-lohkokaavioita aikaisemmin PCS 7 -lohkokaavioista luodun xml-tiedoston avulla.

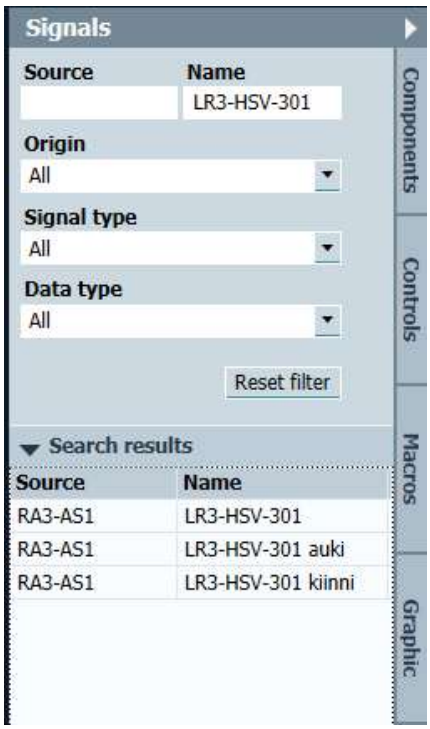
6.6 PCS 7 -kaavioiden kopiointi SIMITtiin kaaviopohjien avulla

SIMITin kaaviopohjien luonnin jälkeen kopioitiin PCS 7 -lohkokaavioista luodun xml-tiedoston avulla PCS 7 -kaaviot SIMITiin. Tämä tapahtui valitsemalla SIMITin yläpalkista ’Automatic modeling’ ja sen alta ’Instantiate templates’. Tuotavaksi tiedostoksi valittiin aikaisemmin luotu lohkojen xml-tiedosto. Jos projektissa on useampia automaatiojärjestelmiä, on mahdollista valita, mistä kaavioiden kopiointi tapahtuu. Kuvassa 20 vasemmalta alhaalla sijaitsevasta Preview-valikosta valittiin kopiotavaksi ilmankäsittelyn lohkokaaviot.



KUVA 20. SIMIT-projektiin tuotiin vain ilmankäsittelyn lohkokaaviot

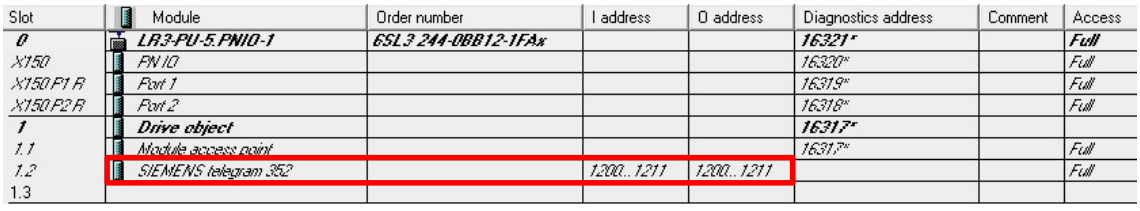
Kopioitaessa pohjia SIMIT huomautti, että tiettyjä pohjia ei löydy. Kaikkien pohjien luomien ei ollut ilmankäsittelyn ylösajon kannalta tarpeellista, joten jatkettiin eteenpäin. Jos PCS 7 -lohkokaaviossa oli käytetty pohjasta poikkeavaa lohkoa, ei SIMIT osannut kopioida kaavioon oikeaa signaalia. Näissä tapauksissa signaali voitiin määrittää kirjoittamalla ’Signal’-kenttään muuttujan nimi. Toinen vaihtoehto oli etsiä signaali oikean reunan ’Signals’-toiminnolla (kuva 21). ’Name’-kenttään kirjoitettiin, minkä lohkokaavion signaalia etsittiin. Kun oikea signaali löydettiin, oli signaali mahdollista raahata komponentin alapalkin ’signals’-kenttään tai raahata komonenttina kaavioon samalla shift-näppäintä painaen.



KUVA 21. Venttiilin signaalien haku

6.7 Väyläohjattu moottori

Ilmankäsittelyn puhaltimia ohjattiin Profibus-väylään kytketyillä moottoreilla. Väyläohjatuille moottoreille oli omat PROFIdrive-moduulinsa. Moottoreiden laitteistomäärittelyistä nähtiin niiden käyttävän telegram 352 -kommunikointia automaatiojärjestelmän ja moottorin välillä (kuva 21). Telegramnumero määrittää, mitä parametreja viesti sisältää. Kuvan 23 toisen ohjaussanan (taulukossa ylempi) perusteella raahattiin kaavioon (kuva 24) PROFIdrive1-komponentti. Lisäksi kuvaan raahattiin signals-valikosta ohjaussana (STW1) ja asetusarvo (NSOLL_A) sekä tilatieto (ZSW1) ja ohjaimen reaaliaikainen nopeus (NIST_A) (kuva 23). Signaalien hakuehtoina käytettiin tulo- ja lähtösanaa jättäen viimeinen numero pois, esimerkiksi tulo- ja lähtöosoitteille 1200-1211 suoritettiin haut IW120 ja QW120.



KUVA 22. Moottorilohkon laitteistomäärittely

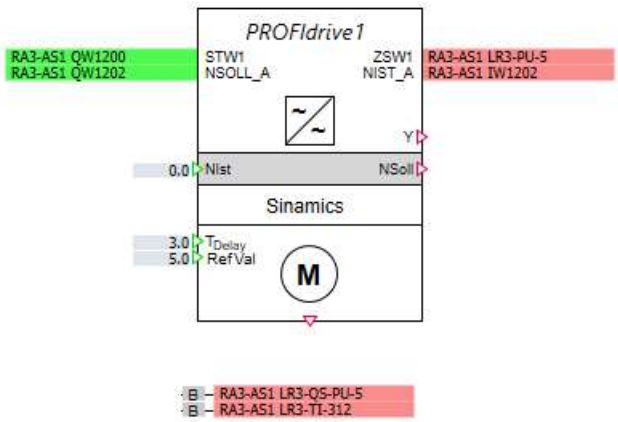
6.6.5 Structure of the telegrams

Table 6- 10 Structure of the telegrams

Telegr.	PZD 1	PZD 2	PZD 3	PZD 4	PZD 5	PZD 6	PZD 7	PZD 8	PZD 9	PZD 10
1	STW1	NSOLL_A								
	ZSW1	NIST_A								
2	STW1	NSOLL_B		STW2						
	ZSW1	NIST_B		ZSW2						
3	STW1	NSOLL_B		STW2	G1_STW					
	ZSW1	NIST_B		ZSW2	G1_ZSW	G1_XIST1		G1_XACT2		
4	STW1	NSOLL_B		STW2	G1_STW	G2_STW				
	ZSW1	NIST_B		ZSW2	G1_ZSW	Further assignment, see FP2420				
20	STW1	NSOLL_A								
	ZSW1	NIST_A_ GLATT	IAIST_ GLATT	MIST_ GLATT	PIST_ GLATT	MELD_ NAMUR				
220	STW1_ BM	NSOLL_B		STW2_BM	M_ADD	M_LIM	free	free	free	free
	ZSW1_ BM	NIST_A	IAIST	MIST	WARN_ CODE	FAULT_ CODE	ZSW2_ BM	free	free	free
352	STW1	NSOLL_A	PCS7_3	PCS7_4	PCS7_5	PCS7_6				
	ZSW1	NIST_A_ GLATT	IAIST_ GLATT	MIST_ GLATT	WARN_ CODE	FAULT_ CODE				
999	STW1	free	free	free	free	free	free	free	free	free
	ZSW1	free	free	free	free	free	free	free	free	free

KUVA 23. Telegram 352 -rakenne (Siemens Industry Online Support. 2010)

Moottorilohkon alapuolelle liitettiin taajuusmuuttajaa mallintava Sinamics-lohko sekä GeneralDrive-lohko moottorin nopeuden laskemiseksi (kuva 24). GeneralDriven TDelay-portilla määriteltiin, kuinka nopeasti moottori saavuttaa uuden nopeuden asetusarvon muuttuessa. Moottoriin liitetty GeneralDrive-lohko laski sisäisesti moottorin nopeuden, joten takaisinkytkentää ei vaadittu. Samaan kaavioon asetettiin moottorilohkon alle binääriohjaukset moottorin turvakytkimelle sekä termistorille.



KUVA 24. Väyläohjatun moottorin lohkokaavio

7 SIMULOINTIYMPÄRISTÖN ASEMIEN VÄLISTET YHTEYDET

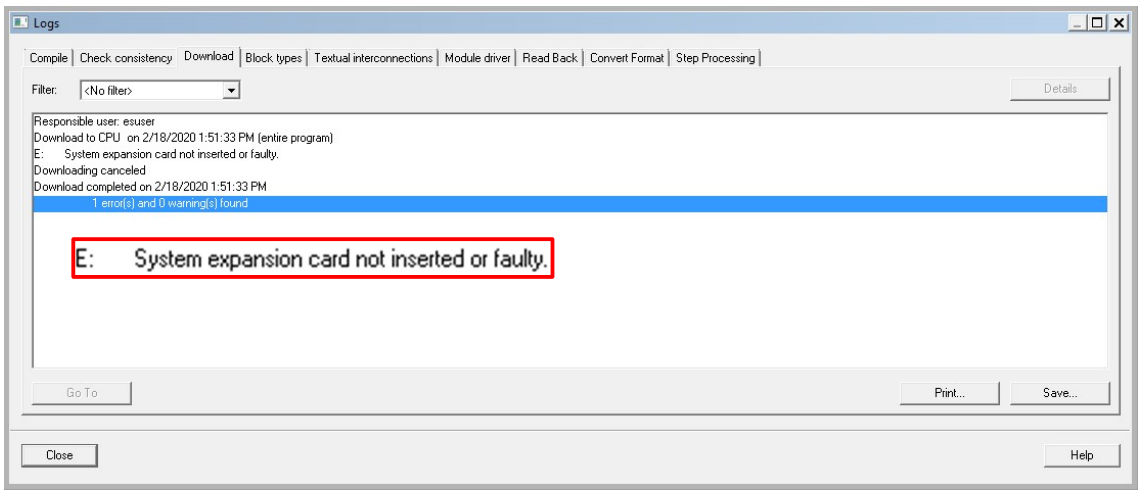
7.1 Laitteistomäärittelyn ja projektin lataaminen Virtual contolleriin

Lohkokaavioiden kopioinnin jälkeen ladattiin laitteistomäärittely ja PCS 7 -projekti Virtual Controlleriin. Ennen lataamista varmistettiin, että ’Options’-valikosta löytyvästä ’Set PG/PC Interface’ -asetuksiin oli määritetty oikea verkkokortti, sekä protokolla. Työtä tehtäessä käytössä oli vain yksi verkkokortti, jolle oli asetettu käyttöön TCPIP.1 -protokolla.

Laitteistomäärittelyn lataaminen tapahtui etsimällä PCS 7 -projektin valikossa prosessiohjainkortti ja valitsemalla ’Hardware’. Avautuvasta HW Config -työkalusta painettiin ensin ’Save and Compile’ ja sen jälkeen ’Download to Module’ (kuva 25).

KUVA 25. Laitteistomäärittelyn lataaminen

Käytössä olleilla PCS 7 -ohjelmiston ohjelmaversioilla laitteistomäärittelyn lataaminen onnistui ongelmitta, mutta yritettäessä ladata PCS 7-projektia Virtual Controlleriin saatiin kuvan 26 mukainen virheviesti.



KUVA 26. PCS 7 -projektin latauksen virhe

Virhe syntyi, koska suunnitteluasemalla oli käytössä CFC Editor -ohjelman vanha versio, jossa lohkokaavion lataamiseen liittyi rajoituksia, kun Virtual Controllerilla simuloitiin S7-410 prosessiohjainta. Kuvasta 27 nähdään, että lohkokaavio ’CFC V8.2 Update 3’ -ohjelmaversiosta lähtien lataaminen onnistuu rajoituksetta. Ongelma korjattiin ottamalla käyttöön vanhalle ohjelmaversiolle tarkoitettu CPU-malli Virtual Controllerin CPU-tiedostoista. Mallin vaihtaminen tapahtui muuttamalla käytössä olleen CPU:n tiedostojen nimiä kuvan 27 mukaisesti. Käytössä ollut CPU-versio voitiin tarkistaa projektin laitteistomäärittelyistä. Jos tulevaisuudessa laitteistomäärittelyyn tehdään muutoksia ja se tarvitsee ladata uudelleen, täytyy CPU käydä vaihtamassa takaisin alkuperäiseen. Ladattaessa lohkokaavioita tulee lataus suorittaa projektin ’Charts’-kohdasta, jotta laitteistomäärittelyä ei yritetä ladata samalla uudelleen väärällä CPU-mallilla.

Note

Use of CFC charts on an S7-410 simulated in the virtual controller

If you are simulating an S7-410 with the virtual controller, note the following when using CFC charts:

Starting with CFC V8.2 Update 3, you can download a user program without any limitations. If you are using an older version of CFC, follow the stops below on each PC configured as a virtual controller:

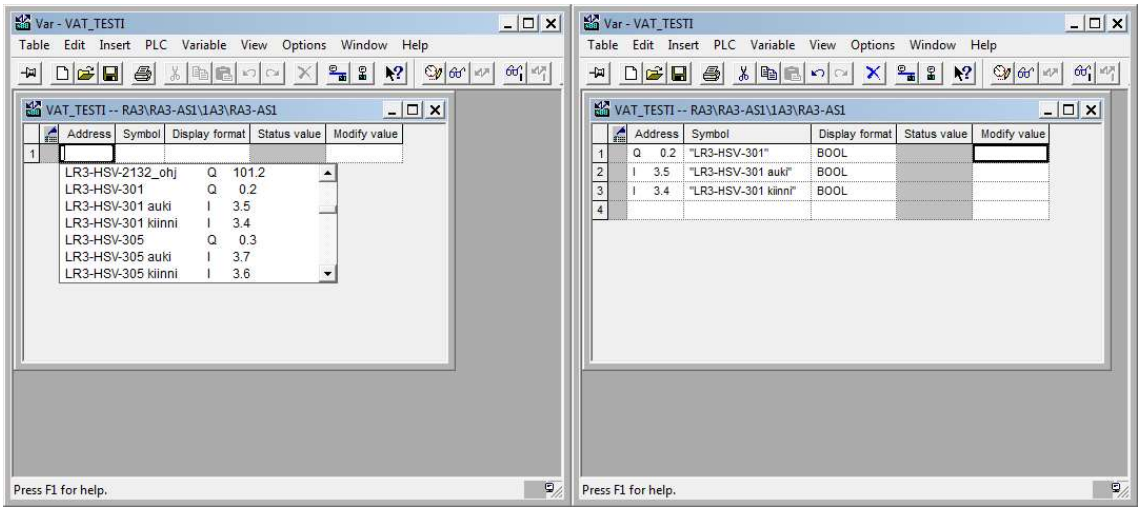
1. Change to the following directory in Windows:
   "Programs (x86)\Siemens\Automation\SIMIT\SIMIT VC\data\CPU"
2. Rename the following files:
   - "6ES7 410 5HN08-0AB0" → "6ES7 410 5HN08-0AB0_CPU410"
   - "6ES7 410 5HX08-0AB0" → "6ES7 410 5HX08-0AB0_CPU410"
3. Rename the following files:
   - "6ES7 410 5HN08-0AB0_LEGACY" → "6ES7 410 5HN08-0AB0"
   - "6ES7 410 5HX08-0AB0_LEGACY" → "6ES7 410 5HX08-0AB0"

As a result of this action, the virtual controller will signal back as S7-417. You can download the project with CFC charts from PCS 7 to the PLC. If you update your CFC installation to the latest version, you must undo this renaming.

KUVA 27. CPU-nimen vaihdon ohjeet (Siemens Industry Online Support. 2014)

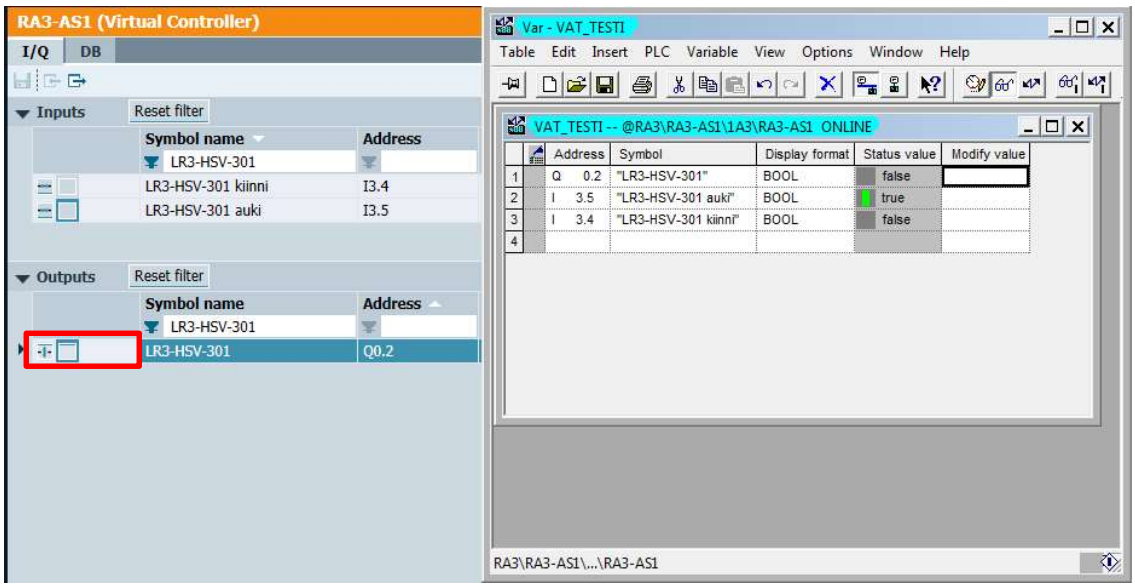
7.2 SIMIT – ES -yhteyden testaaminen

Projektin lataamisen jälkeen tarkistettiin Virtual Controllerin ja suunnitteluaseman välisen yhteyden toiminta. Tätä varten luotiin PCS 7-projektin Blocks-valikkoon uusi muuttujataulukko. Taulukon luominen tapahtui valitsemalla yläpalkin ’Insert’-kohdasta löytyvän ’S7 Block’ -valinnan alta ’Variable Table’. Taulukon luonnin jälkeen lisättiin taulukkoon muuttujia valitsemalla yläpalkin ’Insert’-valikosta ’Symbol’. Näin saatiin näkyviin lista projektin symboleista (kuva 28). Vaihtoehtoisesti taulukkoon oli mahdollista kirjoittaa halutun muuttujan osoite tai nimi, jolloin ohjelma haki automaattisesti loput tiedot. Yhteyden toiminnan testaamiseksi valittiin HSV-301 venttiin ohjaus- ja tilatiedot muuttujataulukkoon. (Siemens Industry Online Support. 2017a)



KUVA 28. Muuttujataulukon luominen PCS 7 -ohjelmistoon

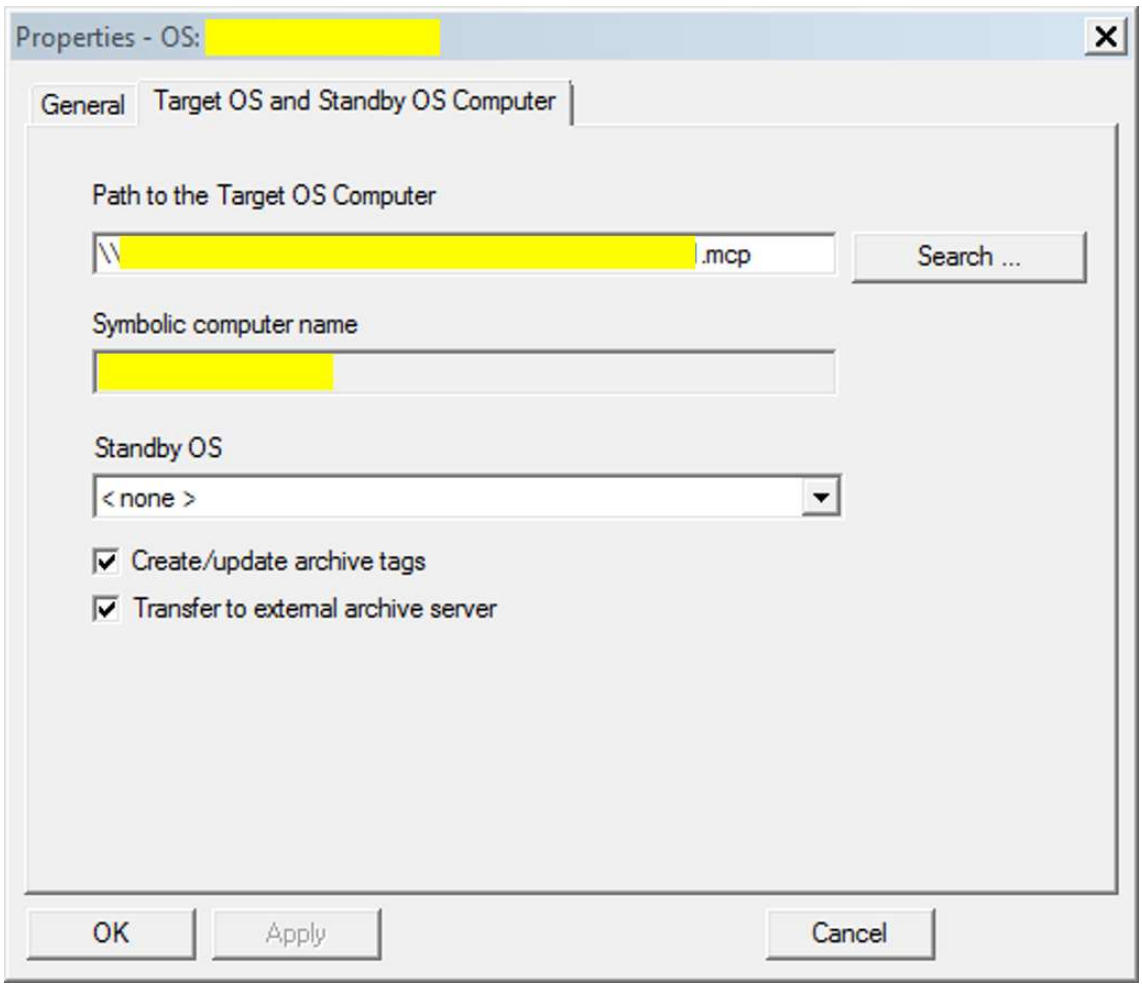
Seuraavaksi asetettiin SIMITin yläpalkin käynnistä-painikkeesta Virtual Controller päälle ja avattiin SIMITin muuttujataulukko vasemman reunan valikon ’Virtual Controller’ -kohdan alta. Lisäksi asetettiin suunnitteluasemalta PCS 7:n muuttujataulukko online-tilaan painamalla silmälasit-painiketta. Sekä SIMITin, että PCS 7:n muuttujataulukoista nähtiin, että venttiili oli kiinni. Venttiilin avaamiseksi SIMITin muuttujataulukosta asetettiin ensimmäisenä muuttujan pakotus päälle painamalla vasemmanpuoleista vaakaviiva-painiketta. Viiva kääntyy pystyyn pakotuksen ollessa päällä (kuva 29). Seuraavaksi muutettiin venttiilin ohjauksen tila aktiiviseksi painamalla pakotuksen oikealla puolella olevaa painiketta. Molemmista kuvan 29 taulukoista nähtiin, kuinka venttiilin kiinni-tieto vaihtui auki-tietoon. Venttiilin ohjauksen toiminnan perusteella todettiin, että Virtual Controllerin ja suunnitteluaseman välinen yhteys toimi. Venttiilin ohjaus ei asettunut päälle PCS 7-muuttujataulukossa, koska muuttujaa muutettiin SIMITissä, eikä muuttujalle ei ole takaisinkytkentää. Kun venttiilin ohjausta simuloitiin PCS 7 projektissa, näkyi venttiilin ohjaus ja auki-tieto molemmissa taulukoissa.



KUVA 29. SIMIT I/O- ja PCS 7 muuttujataulukkoa

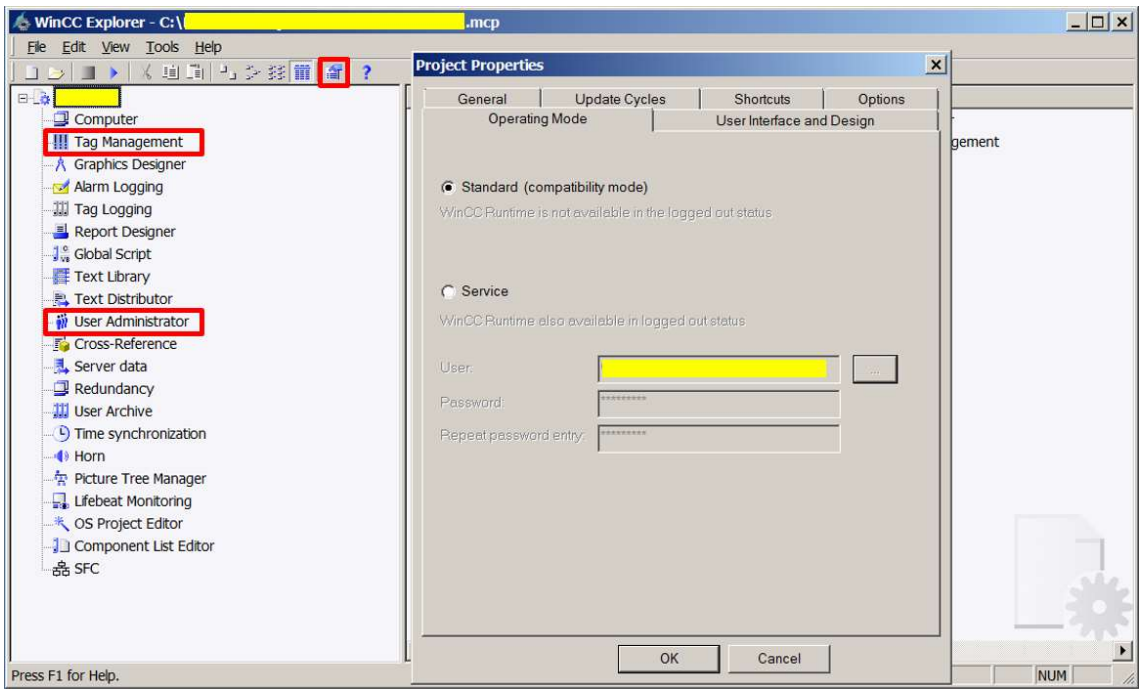
7.3 Valvomoprojektin lataaminen Virtual Controlleriin

Valvomoprojektin lataamista varten etsittiin ensin operointiserveri ja -asema PCS 7 -multiprojektista. Ensisijaisen operointiserverin puu avattiin niin pitkälle, että saatiin näkyviin WinCC -projekti ja klikattiin sitä hiiren oikealla painikkeella. Avautuvasta valikosta valittiin ’Object properties’ ja avautuvasta ikkunasta toinen välilehti ’Targert OS and Standby OS Computer’ (kuva 30). Avaamalla ikkunasta WinCC -projektin tiedostosijainti, ei päästy automaattisesti oikeaan kansioon, joten varmistettiin suunnitteluaseman pääsy operointiaseman jaettuun kansioon kirjoittamalla auki olevaan tiedostonhallintaikkunan yläpalkkiin \\”operointiserverin nimi”. Lisäksi otettiin ’Standby OS’ -valinta pois käytöstä, koska toista operointiserveriä ei ole mallinnettu simulointiympäristöön.



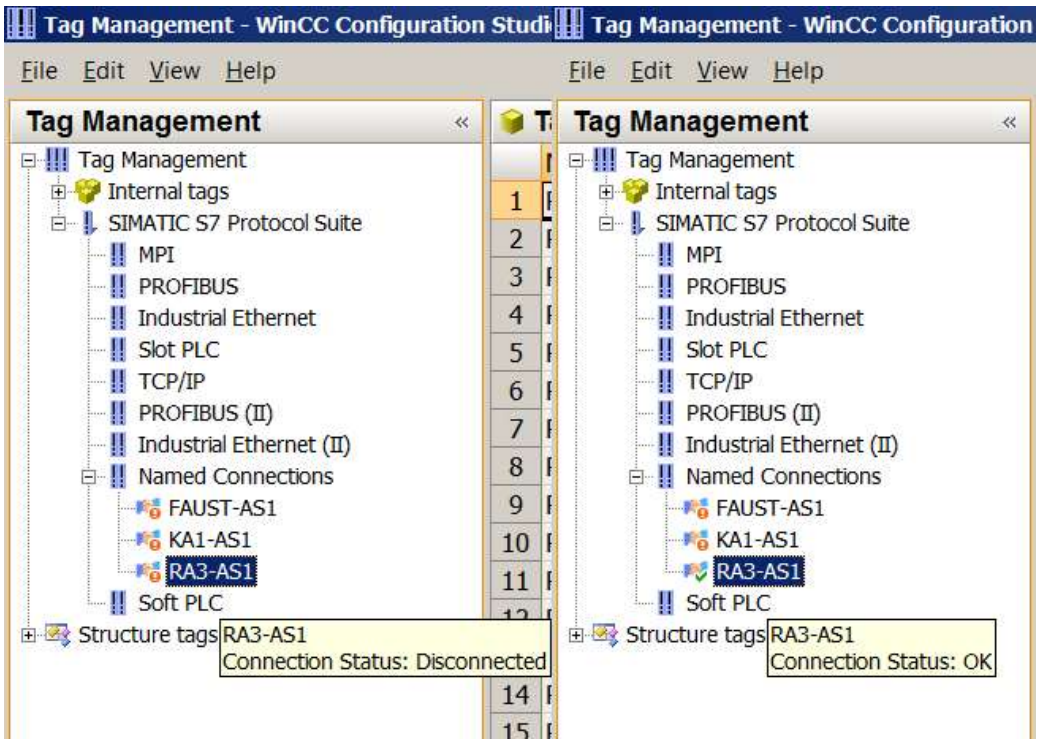
KUVA 30. Valvomoprojektin ’Properties’-valikko. Luottamukselliset tiedot peitetty keltaisilla laatikoilla

Seuraavaksi ladattiin koko WinCC -projekti operointiserverille painamalla WinCC -projektia hiiren oikealla ja valitsemalla sen ’PLC’-kohdasta lataus. Operointiaseman projekti ladattiin omasta projektipuustaan. Avattaessa WinCC -projekteja ensimmäisen kerran käytiin asettamassa projektin asetuksista ’Operation Mode’ Standard-tilaan. Lisäksi operointiserverille ja operointiasemalle luotiin Windowsiin käyttäjäryhmä, joka on nimetty samalla nimellä kuin WinCC -projektin paikallinen pääkäyttäjäryhmä. Käyttäjäryhmät ja niiden oikeudet päästiin näkemään WinCC:n ’User Administrator’ -toiminnolla (kuva 31).



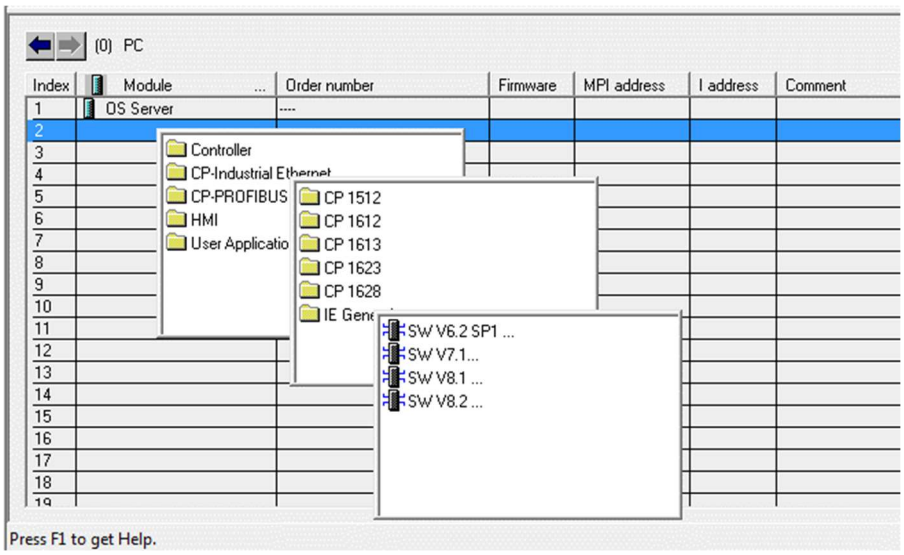
KUVA 31. WinCC asetukset. Luottamukselliset tiedot peitetty keltaisilla laatikoilla.

Valvomonäkymän avaamiseksi asetettiin operointiaseman ja operointiserverin WinCC-projektit Runtime-tilaan käynnistä-painikkeesta. Lisäksi käynnistettiin SIMIT-virtuaalikoneelta Virtual Controller. Simulointiympäristön ensimmäisellä käynnistyskerralla valvomonäkymä avautui, mutta toimilaitteisiin ei saatu yhteyttä. Avaamalla Tag Management (kuva 32) selvisi, ettei valvomo ollut yhteydessä Virtual Controlleriin.



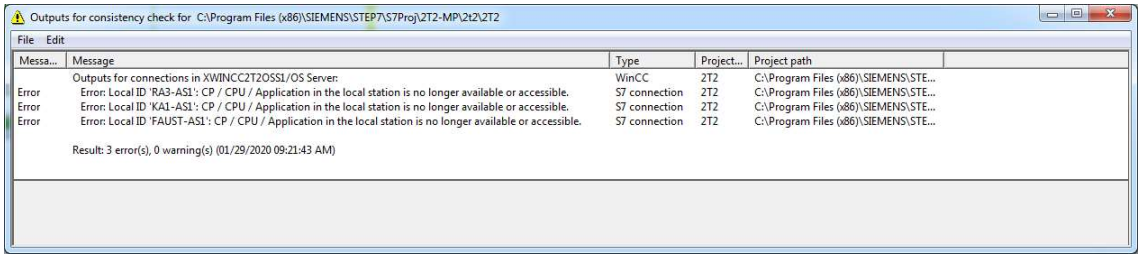
KUVA 32. WinCC:n Tag Management -työkalu

Ongelman syynä oli todellisessa ympäristössä operointiserverillä käytössä ollut fyysinen verkkokortti, jonka toiminta ei siirry simulointiympäristöön. Yhteyden luomiseksi verkkokortin tilalle vaihdettiin PCS 7 -projektin operointiserverin laitteistomäärittelyyn yleinen teollisen ethernetin verkkokortti. Verkkokortin vaihto tapahtui avaamalla operointiserverin alta ’Configurations’-kohdasta laitteistomäärittely. Listasta poistettiin aikaisempi kortti ja tilalle asetettiin IE General SW V8.2 -kortti (kuva 33) valitsemalla yläpalkin ’Insert’-valikosta ’Insert Object’. Verkkokortin IP-osoitteeksi asetettiin operointiaseman IP-osoite. Lopuksi tallennettiin tehdyt muutokset.



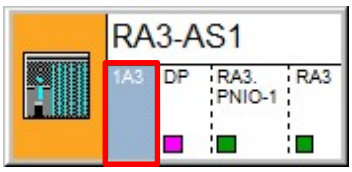
KUVA 33. Operointiserverin verkkokortin määritys

Seuraavaksi avattiin PCS 7 -projektin operointiserverin alta ’Connections’-verkonmäärittely. Avautuvasta NetPro-työkalussa suoritettiin tallennus ’Save and Compile’ -toiminnolla, jolloin verkkokortti vaihtui myös verkonmäärittelyyn. Tallennettaessa ohjelma ilmoitti, että prosessiasemiin asemiin ei voida muodostaa yhteyttä (kuva 34).



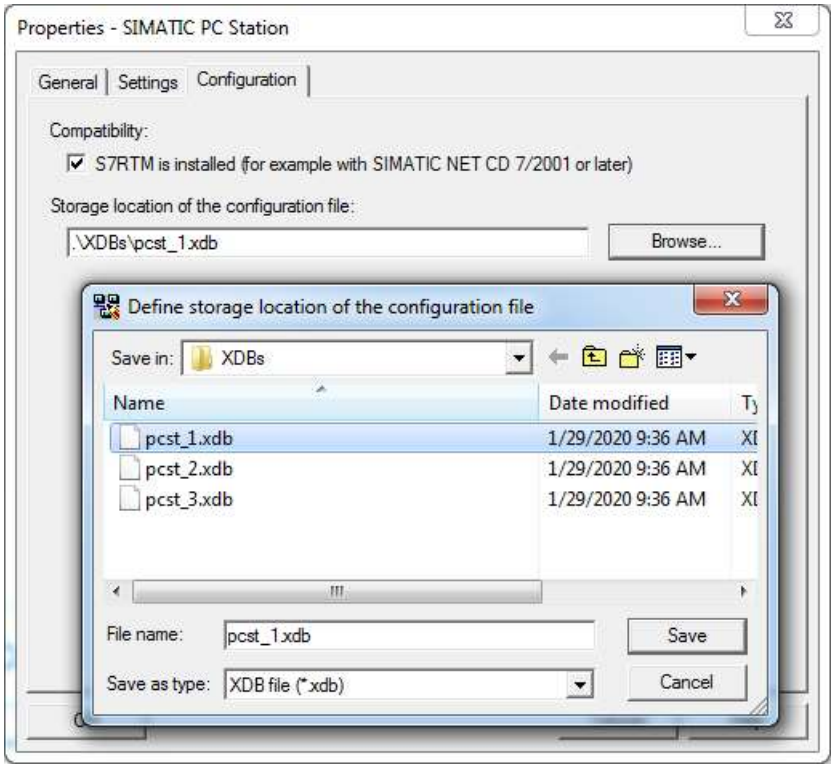
KUVA 34. Prosessiasemien yhteysvirhe

Ongelman ratkaisemiseksi etsittiin PCS 7-projektista yksittäisten prosessiasemien CPU:t. Näiden alta valittiin ’Connections’ ja avautuvasta NetPro-työkalusta etsittiin prosessiaseman CPU ja painettiin sitä (kuva 35). Alareunan taulukosta painettiin operointiserveriä kahdesti. Aukeavasta ikkunasta valittiin Partnerin ’Interface’-kohtaan IE General. Vastaava toimenpide suoritettiin kaikille serveriin yhdistetyille automaatiojärjestelmille. Muutosten tekemisen jälkeen palattiin takaisin operointiserverin verkkomäärittelyyn ja tallennettiin projekti jälleen ’Save and Compile’-toiminnolla.



KUVA 35. Leijurakeisetimen prosessiasema NetPro-työkalussa

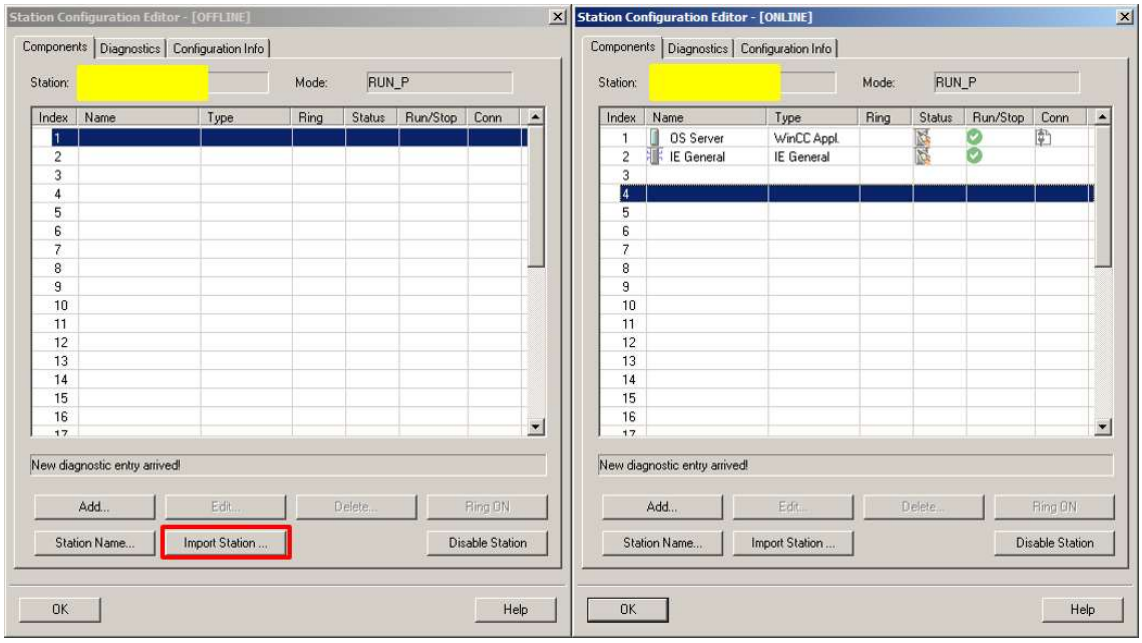
Seuraavaksi painettiin hiiren oikealla operointiserverin nimeä ja avattiin ’Object Properties’. ’Properties’-ikkunasta valittiin ’Configuration’-välilehti ja painettiin määrittelytiedoston sijainnin kohdalta ’Browse’ (kuva 36). Avautuvasta tiedostojenhallintanäkymästä kopioitiin operointiserverin määrittelytiedosto virtuaalikoneiden kesken jaetulle isäntäkoneen kansiolle. Vaihtoehtoisesti tiedoston kopioinnin voisi suorittaa Windowsin resurssienhallinta sovelluksella projektin tiedostoista.



KUVA 36. Operointiaseman Station Confugurator määrittely

Määrittelytiedoston kopioinnin jälkeen operointiserverillä avattiin Station Configurator -työkalu (kuva 37), jonka ’Import Station’ toiminnolla tuotiin operointiserverin määrittely kopioidusta tiedostosta. Tämä jälkeen suunnitteluaseman NetPro-työkalusta ladattiin vielä verkonmäärittely operointiserverille. Suunnitteluasemalla käytiin Station Configuratoriin lisäämässä IE General -verkkokortti, jonka jälkeen

automaatiojärjestelmän asemien väliset yhteydet olivat kunnossa ja toimilaiteet valvomon käytettävissä.



KUVA 37. Station Configurator konfiguroinnin tuonti. Luottamukselliset tiedot peitetty keltaisilla laatikoilla

8 SIMIT-PROSESSIMALLIN LUONTI

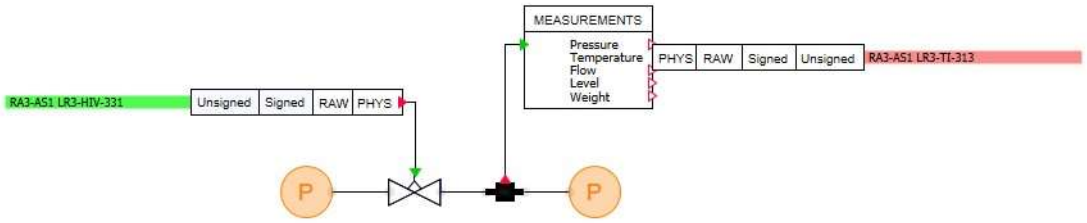
8.1 FLOWNET-kirjastosta käytössä olleet komponentit

Ilmankäsittelyn yksittäisten laitteiden simulointimallien luonnin jälkeen muodostettiin ilmankäsittelyn kokonaisuudesta malli FLOWNET-kirjastoa käyttäen. Ensimmäisenä kaavioon tuotiin väliaineen (medium) kaasuksi määrittävät Pnode-Gas-komponentit ilmakäsittelyn alkuun ja loppuun. Tässä tapauksessa väliaineena toimi ilma. PnodeGas-komponenttiin määritettiin kytkentäpisteen paine ja lämpötila. Putkiverkoston tuli aina alkaa ja päättyä Pnode- tai Mnode-komponenteilla. Mnode-komponentilla määritellään kytkentäpisteen massavirta sekä lämpötila.

Venttiili ja pumppu löytyivät yleisten komponenttien (general) alta. Mittaukset kohdasta (measure) löytyivät putkilinjanmittauspiste (Pipemeasure) ja siihen liitettävä Measurements-mittauslohko, josta saatiin kaikki FLOWNETin valmiiksi tarjoamat mittaukset. Pumppujen ja venttiilien ominaisuuksia oli mahdollista määritellä niiden asetuksista. Pumpuille voitiin määritellä sen tuottama nimellispaine ja -virtaama sekä pumpun tuottama paine, kun väliaineella ei ole pääsyä eteenpäin (Global Pumps). Venttileille voitiin määrittää venttiilikohtainen ominaiskäyrän muoto, virtauskerroin sekä venttiilin ohi vuotamisen suuruus sen ollessa kiinni.

8.2 Signaalien yhdistäminen toimilaitteisiin

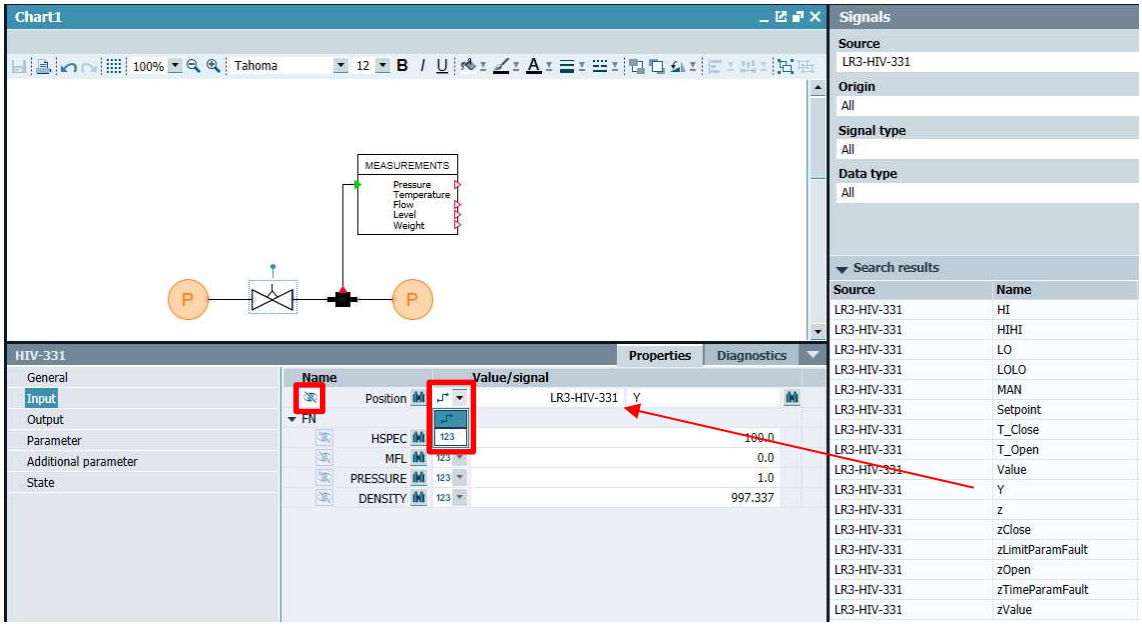
Toimilaitteiden ohjaukset ja antureiden mittaukset oli mahdollista liittää FLOWNET-komponentteihin kahdella eri tavalla. Yksi tapa oli tuoda signaalit komonentteina lohkokaavioon ja yhdistää ne venttiileihin tai antureihin (kuva 38). Mittauslohkolta lähtevien logiikan tulosignaalien kanssa tuli huomioida, että vastaavaa signaalia ei saanut löytyä toisesta lohkokaaviosta.



KUVA 38. Signaalien yhdistäminen FLOWNET-lohkojen ulkopuolelle

Toinen tapa oli lisätä signaalit FLOWNET-lohkojen sisäisiin tuloihin tai lähtöihin. Toimilaitteiden ja mittausten muunninlohkot nimettiin lohkokaavion mukaan. Lohkokaavioissa, joissa oli useampi komponentti, lisättiin komponentin nimeen sen tyyppi. Lisäksi tuli huomioida, että jokaisella komponenteilla tuli olla yksilöllinen nimi. Työn edetessä huomattiin, että tämä vaihe voidaan automatisoida kaaviopohjan luomisvaiheessa.

Venttiilin ohjauksen määrittämiseksi avattiin sen määrittelyn ’Input’-kohta. Ensimmäisenä asetettiin silmänkuvasta (kuva 39) venttiilin ohjaamisen portti piiloon. Seuraavaksi valittiin signaalin vetovalikosta ohjaukseksi lukuarvon sijaan signaali. Lopuksi vedettiin signaalivalikosta SIMITin sisäinen venttiilin ohjaus tyhjiin kenttiin (kuva 39). Vastaavalla tavalla määritettiin mittauslohkon ulostulot.

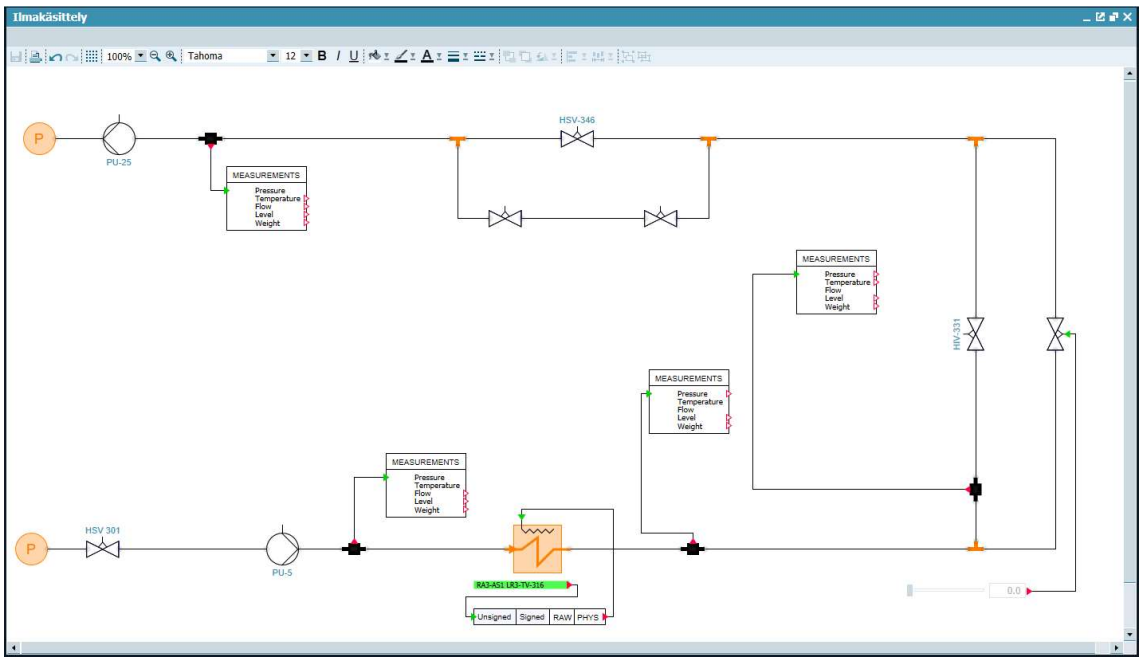


KUVA 39. Signaalien määrittäminen venttiilikomponentin asetuksiin

Kaavioon on myös mahdollista asettaa komponentteja, jotka eivät ole osana prosessinojausta, kuten liukukytkin-ohjattuja venttiilejä ja pumppuja tai mittaustietoja näyttäviä näyttöjä.

8.3 Ilmankäsittelyn FLOWNET-malli

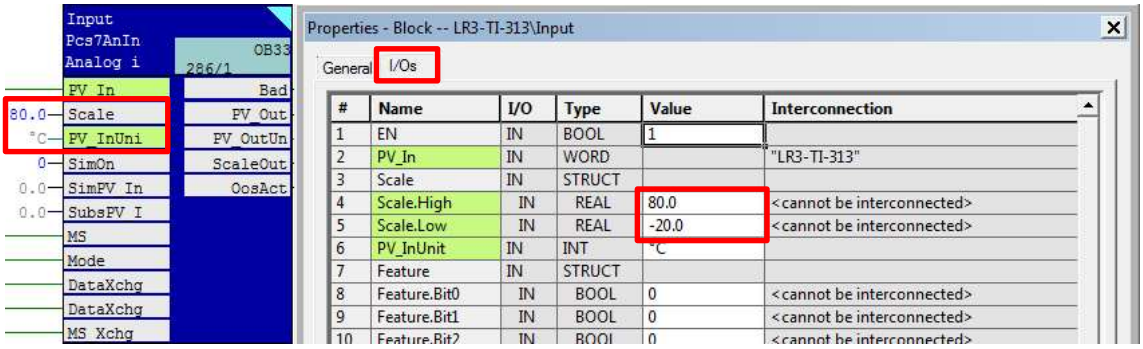
Ilmankäsittelystä muodostettiin FLOWNET-komponenteilla kuvan 40 kokonaisuus. FLOWNET:in valmiit komponentit eivät tarjonneet ilmankosteuden mittaamiseen työkalua, joten kosteuteen liittyvät komponentit jätettiin ulos mallista. Lisäksi lämmönvaihtimien toimintaa yksinkertaistettiin huomattavasti. Mittauksille, joita ei voitu toteuttaa FLOWNETillä, syötettiin kiinteät raaka-arvot, jotka ovat valvomolla määriteltyjen mittausten hälytysrajojen sisällä, eivätkä näin aiheuta hälytystä. Työn edetessä koettiin paremmaksi tavaksi syöttää analogiavakio skaalauslohkoon ja siitä tulomuuttujaan. Näin voidaan syöttää luvut käsin prosessiarvoina.



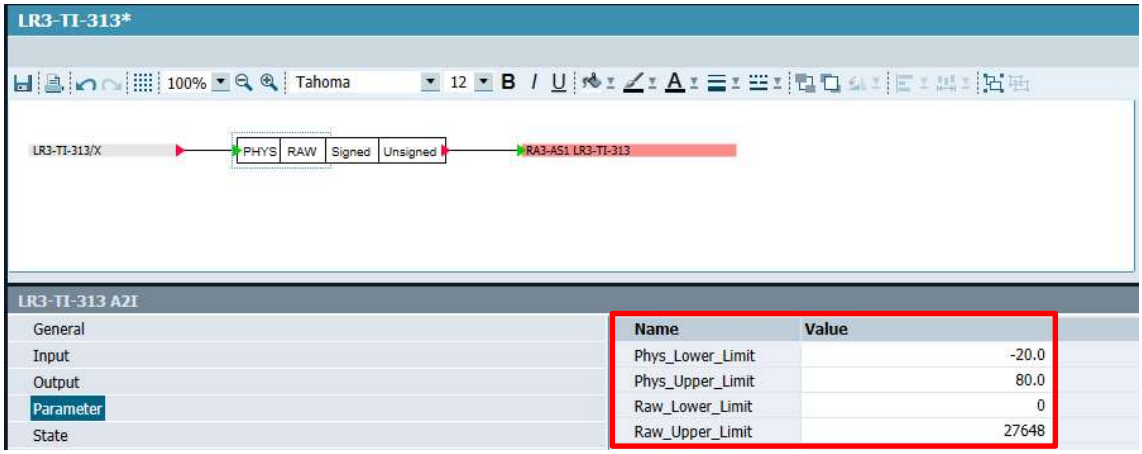
KUVA 40. Ilmankäsittelyn lohkokaavio

8.4 Mittauksien ja ohjauksien skaalaaminen

Ajettaessa prosessia ensimmäisiä kertoja valvomon mittausarvot poikkesivat SIMITin arvoista, koska mittauksia ei ollut skaalattu SIMITissä. PCS 7:ssa mittausten skaalaukset löytyivät lohkokaavioiden tulolohkoista. Skaalaus ei ollut aina suoraan nähtävissä, jolloin se saatiin näkyviin avaamalla lohkon ominaisuudet ja valitsemalla 'I/Os'-välilehti (kuva 41). Esimerkiksi lämpötilanmittaus TI-313 lohkokaaviosta nähtiin, että sen skaalaus on -20 – 80 °C (kuva 41). SIMITissä skaalausta muutettiin Phys2Raw-muunninlohkon parametreista. PCS 7:n skaalausarvot asetettiin muuntolohkon prosessiarvojen rajoiksi (Phys) (kuva 42). Lisäksi raaka-arvojet asetettiin alkamaan nollasta, koska kyseessä oli 4-20 mA virtaviestiin perustuva mittaus (Siemens Industry Online Support. 2016a). Raaka-arvojen skaalauksen muutos tehtiin jokaiselle muunnoslohkolle. Tämä asia voidaan huomioida tulevaisuudessa analogiamittauksen kaaviopohjassa.



KUVA 41. Mittauksen skaalaus PCS 7-lohkokaaviossa



KUVA 42. Mittauksen skaalaus SIMITissä

Painemittauksia skaalattaessa tuli huomioida, että SIMIT näyttää absoluuttisen paineen arvoa ja esimerkiksi tuloilmapuhaltimen jälkeen mitattiin suhteellista painetta. Simuloitaessa prosessia käytettiin ulkoilman paineena yhtä baaria, joten paine-eron skaalauksen keskikohdaksi asetettiin yksi baari.

Simuloinnin ollessa päällä skaalausta oli mahdollista muuttaa painamalla lohkoa hiiren oikealla painikkeella. Kesken simuloinnin muutetut arvot eivät automaattisesti jääneet aktiivisiksi arvoiksi, vaan ne täytyi asettaa käyttöön ’Automatic modeling’ -valikon alta löytyvällä ’Bulk engineering import’ -toiminnolla.

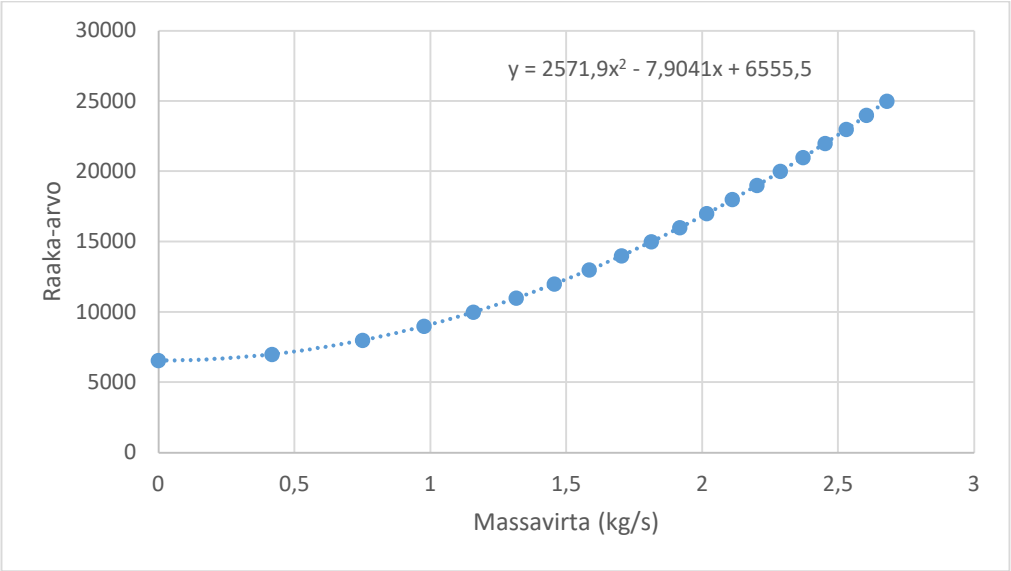
8.5 Paine-eroon perustuvan virtausmittauksen skaalaus

Ilmankäsittelyssä ilman virtaamaa mitattiin paine-eroon perustuvalla mittauksella, jolloin lineaarista skaalausta ei voitu käyttää. Lisäksi ilmankäsittelyssä virtaama ilmoitettiin tilavuusvirtana SIMIT ilmoittaessa virtaaman massavirtana. Skaalauksen luomiseksi ensimmäisenä taulukoitiin raaka-arvoja vastaavat tilavuusvirran arvot. Tämä tapahtui syöttämällä käsin arvoja virtausmittauksen raaka-arvoja tulomuuttujaan. Tämä oli mahdollista tehdä esimerkiksi SIMITin muuttujataulukosta. Raaka-arvoja syötettäessä kävi ilmi, että tilavuusvirran nollaa vastaava raaka-arvo oli 6555. Raaka-arvoja syötettiin tuhannen välein arvoille 7000 – 25000 ja jokaiselle kirjatiin sitä valvomossa vastaava tilavuusvirran arvo. Arvojen taulukoinnin jälkeen muutettiin tilavuusvirta massavirraksi kaavan 1 mukaan. SIMITissä ilman tiheyden arvoksi oli määritetty 997,337 g/m^3. Tiheyden arvo ei ollut muutettavissa.

$$q_V = \frac{q_m}{\rho} \Leftrightarrow q_m = q_V \cdot \rho\,, \tag{1}$$

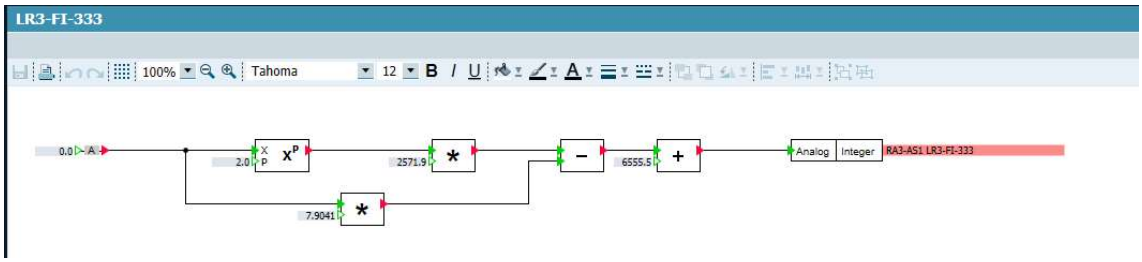
jossa q_V on tilavuusvirta, q_m on massavirta ja ρ on tiheys.

Muunnoksen jälkeen muodostettiin raaka-arvon ja massavirran välinen funktio. Tämä tapahtui tekemällä ensin Microsoftin Excel laskentataulukko-ohjelmalla raaka-arvo-massavirta kuvaaja, johon lisättiin polynominen trendiviiva (kuvio 1).



KUVIO 1 Raaka-arvo massavirran funktiona

Mittaussignaali tuotiin FLOWNET-kaaviosta analogialiittimellä ja sille suoritettiin analogia- ja matematiikkakomponenteilla kuvion 1 mukainen laskutoimitus (kuva 43). Lopuksi analogiasignaali muutettiin kokonaisluvuksi, jotta sen arvo voitiin syöttää tulomuuttujaan.



KUVA 43. Virtausmittauksen skaalaus -kaavio

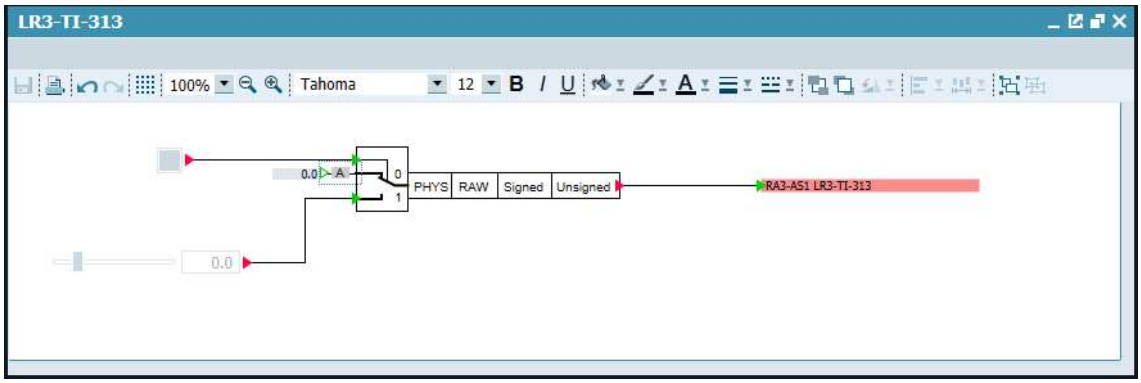
8.6 Prosessin ohjaaminen

Leijurakeistimeen liittyi suuri määrä muitakin prosessin osia kuin ilmankäsittely, jonka seurauksena prosessin käynnistämiseen oli lukuisia käynnistysehtoja. Jotta rakeistimen olemassa olevien sekvenssien suorittaminen onnistui, täytyi nämä ehdot ohittaa. Työtä tehtäessä helpoin tapa testata mallin toimintaa oli ajaa jokainen toimilaite erikseen valvomosta haluttuun tilaan.

8.7 SIMITin komentosarjojen toiminta

Työssä SIMITin komentosarjoja (scripting) käytettiin SIMITin sisäisäisten signaalien muokkaamiseen. Vain signaaleja, joiden muokkaaminen ei vaatinut pakotusta oli mahdollista ohjata komentosarjoilla. Prosessin mittaukset luotiin siten, että ne voidaan syöttää Virtual Controllerille FLOWNET-mallista tai niiden arvoa voidaan muokata käsin kesken simuloinnin. Tämä helpottaa prosessiohjauksen reagoimisen testaamista hälytyksiin ja prosessiarvojen muutoksiin.

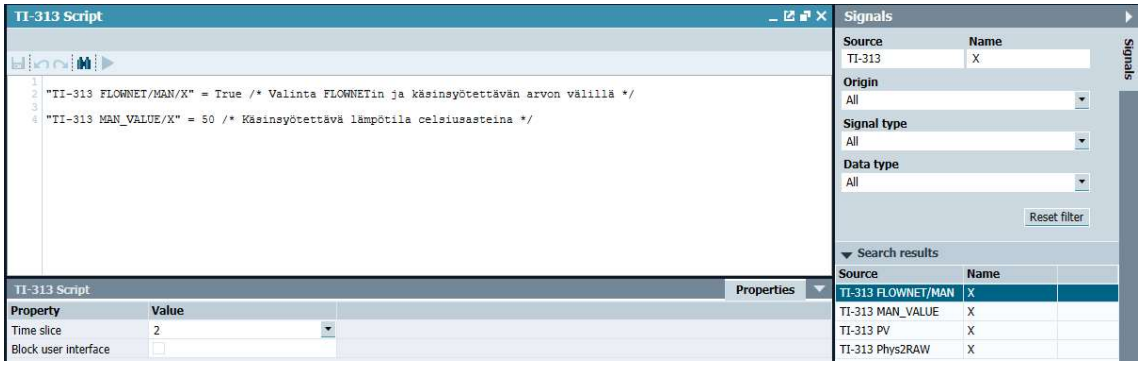
Toiminto toteutettiin asettamalla prosessiarvon skaalauslohkon eteen kytkin, joka valitsee FLOWNET-mallilta automaattisesti saatavan mittauksen ja käsin syötettävän arvon välillä (kuva 44). Kytkintä ohjattiin painonapilla ja sen tuloihin syötettiin FLOWNET-mittaus sekä liukukytkimen ulostulo. Painonappi ja liukukytkin olivat ohjattavissa lohkokaaviosta sekä komentosarjalla. Liukukytkimen hyvänä puolena oli, että sille syötettävät arvot ovat rajoitettavissa. Lohkot nimettiin jälleen helposti tunnistettaviksi. Myöhemmin toiminto lisättiin analogiamittausten kaaviopohjaan.



KUVA 44. Komentosarjalla muokattava lämpötilamittaus

Helpoin tapa kirjoittaa komentosarjoja oli raahata Signals-valikosta halutut signaalit ja kirjoittaa yhtäsuuruusmerkin jälkeen haluttu muuttujan tila. Binäärisignaaleja ohjattiin kirjoittamalla komentosarjaan True (1) tai False (0). Kuvan 44 lohkokaaviota varten luotiin toiminnon testaamiseksi yksikertainen komentosarja, jolla muutettiin lämpötilan arvo 50 celsiusasteeksi (kuva 45). Toisin kuin lohkokaavioita, oli komentosarjoja mahdollista muokata simuloinnin ollessa päällä. Lisäämällä /* tekstin eteen ja loppuun */ voitiin kommentoida osia komentosarjasta

pois. Tätä voitiin hyödyntää esimerkiksi kommenttien tekemiseen tai komentojen pois jättämiseen.



KUVA 45. Lämpötilamittauksen manipulointi komentosarja

9 POHDINTA

Simulointiympäristön käyttö

Simulointiympäristön käyttöönotto osoittautui haastavammaksi, kuin työtä aloitettaessa odotettiin. Suurimmat syyt tälle olivat fyysisten tietokoneiden virtuaalikopioiden hidas toimivuus sekä tietokoneiden välisten yhteyksien muodostamiseen vaadittu määrittelyiden muuttaminen. Hitaudesta päästiin onneksi eroon luomalla uudet puhtaat virtuaalikoneet. Tarvittavien ohjelmien asentaminen puhtaisiin käyttöjärjestelmiin vei oman aikansa, mutta ympäristön käytettävyyden kannalta se oli oikea ratkaisu. Virtuaalikoneiden kanssa kaikki sujui hyvin lukuun ottamatta muutamaa virtuaalikoneen vioittumista VMware-ohjelman kaaduttua. Näitä tilanteita varten oli hyvä pitää tallessa varmuuskopiot kaikista virtuaalikoneista.

SIMITin käyttö tulevaisuudessa

Itse SIMITin käyttö oli yksinkertaista kaaviopohjien perusteella kopiotavien lohkokaavioiden sekä symbolilistan automaattisen tuomisen ansiosta. Työn perusteella SIMITin käyttöönottoa tullaan jatkamaan tulevaisuudessa hyödyntämällä sitä automaatiojärjestelmän ohjelmaan tehtävien muutosten testaamiseen. Testattaessa muutoksia ensin virtuaalisessa ympäristössä voidaan lyhentää prosessin seisottamisen tarvetta käyttöönotto- tai validointitestejä tehtäessä. Tulevaisuudessa SIMIT-mallin luominen toiselle samankaltaiselle prosessille onnistuu helposti hyödyntämällä aikaisemmin luotuja lohkokaaviopohjia, jolloin työmäärä pienenee huomattavasti.

Seuraavan prosessin mallinnusta voidaan helpottaa kaaviopohjien kehittämisellä. Työssä lohkokaavioiden nimen automaattista liittämistä komponentteihin hyödynnettiin vain SIMITin sisäisten signaalien kanssa. Ominaisuutta hyödynnetään tulevaisuudessa kaikkien komponenttien nimeämisessä, jolloin kaikilla komponenteilla on samankaltaiset nimet. Binääri- ja analogiasignaalien monitoroinnin pohjiin voidaan lisätä lohkot komentosarjaohjausta varten, jos komentosarjojen

käyttö koetaan tarpeelliseksi. Lisäksi tulevaisuudessa on hyvä perehtyä tarkemmin lämmönvaihdinlohkojen toimintaan. Prosessimallia voidaan tulevaisuudessa tarkentaa hyödyntämällä todellisesta prosessista syntynyttä dataa sekä syöttämällä pumpuille ja venttiileille todellista tilannetta paremmin vastaavat ominaisuudet.

Ohjelmistojen haasteet

Työn etenemiseen vaikuttaneet haasteet aiheutuivat suurimmaksi osaksi virtuaalikoneista. VMwaren 12-version kaatuessa ja eheyttäessä virtuaalikoneen virtuaalista kovalevyä virtuaalikoneet vioittuivat muutaman kerran käyttökelvottomiksi. Myös virtuaalikoneiden IP-osoitteiden vaihtuminen itsekseen aiheutti välillä ongelmia.

Muuttujien tuomisessa SIMITiin ilmeni ongelma, jossa tietyn I/O-korttityypin tavuista SIMIT toi automaattisesti vain ensimmäisen bitin. Siemensin asiantuntijoiden avulla ongelman syy löytyi osoitejonon pituuden lukemisesta. Ongelma saatiin korjattua poistamalla laitteisto- ja muuttujamäärittelyn xml-tiedostosta tämän korttityypin ”LengthSize” -rivi.

Muiden ohjelmistojen käyttö

SIMIT-ohjelmiston lisäksi työstä kertyi arvokasta kokemusta PCS 7 prosessiohjausjärjestelmän toiminnasta, erityisesti valvomoyhteyksien muodostamisesta. Jatkossa simulointiympäristöä voidaan prosessisimuloinnin lisäksi käyttää PCS 7- ja WinCC-ohjelmistoihin turvalliseen tutustumiseen.

LÄHTEET

Global Pumps. What is Pump Head and Shut-off Head? Luettu 02.03.2020. https://www.globalpumps.com.au/head

Microsoft Support. You cannot turn on Network Discovery in Network and Sharing Center in Windows Server 2008, Windows Server 2008 R2, or Windows Server 2012. Luettu 9.2.2020. https://support.microsoft.com/en-us/help/2722035/you-cannot-turn-on-network-discovery-in-network-and-sharing-center-in

Orion, konserni. Luettu 28.02.2020. https://www.orion.fi/konserni/

Siemens. SIMATIC WinCC V7 Basic Software. Luettu 30.3.2020 https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-v7/simatic-wincc-v7-basic-software.html

Siemens Industry Online Support. 2010. SINAMICS G150 Converter cabinet units 75 kW to 1500 kW; Operating Instructions; Control version V4.3 SP2. Luettu 24.2.2020. https://support.industry.siemens.com/cs/document/45606159/sinamics-g150-converter-cabinet-units-75-kw-to-1500-kw-operating-instructions-control-version-v4-3-sp2?dti=0&lc=en-FI

Siemens Industry Online Support. 2014. SIMIT Virtual Controller (VC) – User Manual. Luettu 26.02.2020. https://support.industry.siemens.com/cs/document/107196877/SIMIT-virtual-Controller-(vc)-user-manual?dti=0&lc=en-WW

Siemens Industry Online Support. 2016a. SIMATIC S7-400 S7-400 Automation System Module Data. Luettu 16.03.2020. https://support.industry.siemens.com/cs/document/1117740/simatic-s7-400-s7-400-automation-system-module-data?dti=0&lc=en-WW

Siemens Industry Online Support. 2016b. WinCC V7.4: Getting Started. Luettu 18.02.2020 https://support.industry.siemens.com/cs/document/109736232/wincc-v7-4%3A-getting-started?dti=0&lc=en-WW

Siemens Industry Online Support. 2017a. SIMIT Simulation V9.0 Getting Started. Luettu 26.01.2020 https://support.industry.siemens.com/cs/document/109746485/first-steps-with-SIMIT-simulation-and-simatic-pcs-7?dti=0&lc=en-US

Siemens Industry Online Support. 2017b. What are the differences between using the SIMIT Virtual Controller and a real CPU? Luettu 26.02.2020. https://support.industry.siemens.com/cs/document/109742076/what-are-the-differences-between-using-the-SIMIT-virtual-Controller-and-a-real-cpu-?dti=0&lc=en-WW

Siemens Industry Online Support 2017c. SIMATIC PCS 7 - PC Configuration (V9.0). Siemens. Luettu 9.2.2020. https://support.industry.siemens.com/cs/document/109749317/simatic-pcs-7-pc-configuration-(v9-0)?dti=0&lc=en-WW

Siemens Industry Online Support. 2018a. SIMATIC Process Control System PCS 7 Getting Started - Part 1 (V8.2 with APL) Luettu 26.02.2020. https://support.industry.siemens.com/cs/document/109485954/simatic-process-control-system-pcs-7-getting-started-part-1-(v8-2-with-apl)?dti=0&lc=en-WW

Siemens Industry Online Support. 2018b. SIMATIC SIMIT Simulation Platform (V10.0). Luettu 24.02.2020. https://support.industry.siemens.com/cs/document/109759317/simatic-SIMIT-simulation-platform-(v10-0)?dti=0&lc=en-FI

VMware Glossary. Virtual Machine. Luettu 11.2.2020. https://www.vmware.com/topics/glossary/content/virtual-machine

VMware Support. Using the Snapshot. Luettu 02.03.2020 https://www.vmware.com/support/ws4/doc/preserve_snapshot_ws.html