

Janne Tolonen

VIRTUAALINEN KÄYTTÖNOTTO

VIRTUAALINEN KÄYTTÖNOTTO

Elomatic Oy

Janne Tolonen
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto
Älykäs automaatio ja robotiikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto, älykäs automaatio ja robotiikka

Tekijä: Janne Tolonen

Opinnäytetyön nimi: Virtuaalinen käyttöönotto

Työn ohjaaja: Jyrki Savela (OAMK)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 57 + 0 liitettä

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutustua virtuaaliseen käyttöönottoon tekemällä se Elomatic Oy:n suunnittelemaan kuonapadanpinnoituslaitteistoon, ja saada siitä kokemusta ja tietotaitoa henkilökohtaisesti sekä Elomatic Oy:lle. Kuonapadanpinnoituslaitteiston tilaaja oli Outokumpu Oyj. Opinnäytetyön tavoite oli tehdä onnistunut virtuaalinen käyttöönotto, tuottaa virtuaalisesta käyttöönoton suorittamisesta tietoa Elomatic Oy:n henkilöstölle, analysoida siitä saatuja kokemuksia sekä analysoida, kannattaako virtuaalista käyttöönottoa hyödyntää jatkossa Elomatic Oy:n liiketoiminnassa.

Opinnäytetyö toteutettiin tutkimuksellisenä kehitystyönä ja lähestymistapana on käytetty konstruktivistista tutkimusta. Konstruktivistisessa tutkimuksessa pyritään luomaan yritykselle uusi konkreettinen asia, joka tässä tutkimuksessa on virtuaalinen käyttöönotto. Tutkimustyön alussa luotiin tutkimuskysymykset, joihin vastaamalla päästiin opinnäytetyölle asetettuihin tavoitteisiin.

Tietoperustaan kerättiin ajankohtaista tietoa PLC-tekniikasta, simuloinnista, 3D-mallintamisesta sekä virtuaalisesta käyttöönotosta. Tietoperustan aiheet valittiin siten, että ne tukivat suoraan konstruktion tekemistä. Tietoa hankittiin kirjallisista lähteistä sekä haastatteleamalla alan asiantuntijoita.

Opinnäytetyön keskeinen tavoite ja samalla konstruktio eli virtuaalinen käyttöönotto tehtiin Siemensin ohjelmistoilla. Opinnäytetyössä käytetyt ohjelmistot olivat Siemens TIA Portal, Siemens PLC Sim Advanced, Siemens Simit, Siemens NX ja Siemens MCD.

Tulokseksi tässä opinnäytetyössä saatiin laajasti ymmärrystä virtuaalisen käyttöönoton tekemisestä, niin tietoperustasta kuin toteutettuna konstruktionakin. Osana opinnäytetyötä toteutettiin videoitu demo virtuaalisen käyttöönoton ohjelmistojen käytöstä Elomatic Oy:n käyttöön.

Virtuaalinen käyttöönotto tuo kiistatta etuja, kun se suoritetaan ennen fyysistä käyttöönottoa. Merkittävimpiä näistä ovat laadukas PLC-koodi ja sitä kautta oikeassa käyttöönotossa säästetty aika ja raha. Virtuaalinen käyttöönotto asettaa myös vaatimuksia koko suunnitteluprojektin läpiviemiselle sekä henkilöstön osaamiselle. Koneiden suunnitteluprojektin läpivientiä pitää muuttaa yleisesti käytetystä peräkkäisestä järjestyksestä rinnakkaiseen, eli automaatio suunnittelu pitää aloittaa jo mekaniikkasuunnittelun rinnalla, milloin vuorovaikutus suunnittelulajien kesken on mahdollista.

Virtuaalisen käyttöönoton vaatima työmäärä on suuri. Sen tekeviltä henkilöiltä vaaditaan korkeatasoista osaamista, joten sen takia pitääkin projektikohtaisesti miettiä, onko virtuaalinen käyttöönotto kannattavaa tehdä.

Asiasanat: PLC, virtuaalinen käyttöönotto, simulointi, PLC-SIM Advanced, Simit, MCD

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Master's degree programme, Intelligent automation and Robotics

Author: Janne Tolonen
Title of thesis: Virtual Commissioning
Supervisor: Jyrki Savela (OAMK)
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024
Number of pages: 57 + 0 appendices

The purpose of this thesis was to become familiar with the virtual commissioning by applying it to a machine already designed by Elomatic Oy and to gain experience and know-how in virtual commissioning personally and for Elomatic Oy. The aim of the thesis was to successfully perform virtual commissioning, provide information about the implementation of the virtual commissioning for the personnel of Elomatic Oy, to analyze the experiences gained from it, and to analyze could the virtual commissioning be a viable business opportunity for Elomatic Oy.

The thesis was carried out as constructive research, which aims to create a new concrete thing for the company, in this case, virtual commissioning. At the beginning of the research work, research questions were created, and by answering these questions the goals set for the thesis were achieved.

The theoretical basis of the thesis includes up-to-date information of PLC technology, simulation, 3D modeling and virtual commissioning. Information was obtained from written sources and by interviewing experts from leading commercial companies.

In summary, it can be stated that virtual commissioning brings undeniable advantages when it is performed before real commissioning at the site. The most significant advantages are better quality PLC code and thus time and money saved in real commissioning. At the same time, it can be stated that virtual commissioning also sets requirements for the entire design project. The workflow of the design project must be changed from the commonly used sequential order to a parallel order. Automation design must be started alongside mechanical design so that the interaction between design disciplines is possible.

Keywords:

PLC, virtual commissioning, simulation, PLC-SIM Advanced, Simit, MCD

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset.....	6
1.2	Tutkimusmenetelmät	7
1.3	Opinnäytetyön rakenne	8
2	PLC JA SIMULOINTIYMPÄRISTÖ	9
2.1	PLC-järjestelmät.....	10
2.1.1	Ladder Diagram (LD)	12
2.1.2	Sequential Flow Charts (SFC)	13
2.1.3	Function Block Diagrams (FBD).....	13
2.1.4	Instruction List (IL)	14
2.1.5	Structured Text (ST)	14
2.2	Simulointi.....	14
2.3	3D-mallinnus	16
2.4	Virtuaalinen käyttöönotto	17
2.4.1	Virtuaalisen käyttöönoton hyötyjä	19
2.4.2	Virtuaalisen käyttöönoton vaatimukset suunnittelutyölle	21
2.4.3	Virtuaalisen käyttöönoton tekniikkaa	22
3	PINNOITUSLAITTEISTON VIRTUAALINEN KÄYTTÖÖNOTTO	25
3.1	Virtuaalisen käyttöönoton simulointiympäristön rakentaminen	27
3.1.1	PLC-SIM Advanced ja TIA Portal	28
3.1.2	Simit-prosessisimulaatio	29
3.1.3	MCD-mekaniikkasimulaatio.....	36
3.2	Simulointiympäristön testaus ja virtuaalinen käyttöönotto	43
3.2.1	Laitteiston normaalin toiminnallisuuden testaus	44
3.2.2	Poikkeavien tilanteiden simulointi	44
3.2.3	Laitteistovikojen ja prosessihäiriöiden simulointi	45
4	TUTKIMUKSEN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	48
5	POHDINTA	52
	LÄHTEET	54

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aihe on virtuaalinen käyttöönotto. Virtuaalista käyttöönottoa tutkitaan erityisesti PLC:n (programmable logic controller) ja automaatiotekniikan näkökulmasta. Virtuaalinen käyttöönotto on jokseenkin vakiintuneessa automaatiomaailmassa kohtalaisen uutta ja alkuvaiheessa olevaa asiaa. Virtuaalinen käyttöönotto on myös samalla nopeasti kehittyvää, minkä takia onkin tärkeää olla mukana virtuaalisen käyttöönoton kehityksessä ja hankkia aiheesta osaamista sekä kokemusta.

Elomatic Oy on suunnittelun, teknisen konsultoinnin ja projektinjohtamisen palveluja tarjoava yritys. Yrityksen yli 1 300 työntekijästä noin 200 on sähkö- ja automaatiotekniikan ammattilaisia. Elomatic Oy on myös teknologiatalo, jossa uusista teknologioista ja menetelmistä ollaan hyvin kiinnostuneita. Opinnäytetyö tarjoaa konsernitasolla tietoa ja kokemuksia virtuaalisen käyttöönoton soveltamisesta käytäntöön. Automaatiotekniikan ammattilaisten lisäksi virtuaalinen käyttöönotto voi antaa tietoa ja työkaluja myös Elomatic Oy:n digitaalisten palvelujen kehitykseen. (Elomatic 2024b.)

1.1 Tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutustua virtuaaliseen käyttöönottoon tekemällä se oikeaan Elomatic Oy:n asiakasprojektiin ja saada siitä kokemusta ja tietotaitoa henkilökohtaisesti sekä Elomatic Oy:lle. Opinnäytetyön tavoite on tehdä virtuaalinen käyttöönotto oikeaan Elomatic Oy:n asiakasprojektiin ja analysoida siitä saatuja kokemuksia sekä sitä, kannattaako virtuaalista käyttöönottoa mahdollisesti hyödyntää jatkossa Elomatic Oy:n liiketoiminnassa. Tavoitteisiin kuuluu myös, että opinnäytetyö antaa Elomatic Oy:n automaatiohenkilöille selkeän käsityksen siitä, miten simulaatioympäristö rakennetaan ja virtuaalinen käyttöönotto tehdään.

Tässä työssä ei verrata virtuaalista käyttöönottoa normaaliin käyttöönottoon käytännössä, vaan haetaan kokemuksia ja tietoa virtuaalisen käyttöönoton toteutuksesta simulointiympäristössä. Opinnäytetyön tarkoitus ei kuitenkaan ole olla varsinainen käyttöohje simulaatioympäristön rakentamiseen, vaan tarkoitus on antaa aiheesta kattava yleiskuva.

Tutkimuskysymykset joihin opinnäytetyössä vastataan ovat seuraavat:

- 1) Miten virtuaalinen käyttöönotto tehdään?
- 2) Saadaanko Elomatic Oy:lle hyötyä virtuaalisesta käyttöönotosta perinteiseen tapaan verrattuna?
- 3) Miten virtuaalinen käyttöönotto vaikutta Elomatic Oy:n suunnitteluprojektin läpiviemiseen ja mitä eroja automaatioprojektissa on?
- 4) Voisiko virtuaalisesta käyttöönotosta tulla liiketoimintaa Elomatic Oy:lle?

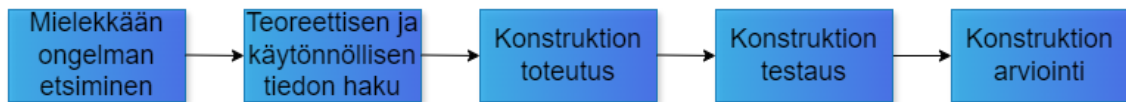
1.2 Tutkimusmenetelmät

Tämä opinnäytetyö on toteutettu tutkimuksellisenä kehittämistyönä (TKT), jossa tutkitaan virtuaalista käyttöönottoa. Tutkimuksellinen kehittäminen sijoittuu tieteellisen tutkimuksen ja arkiajatteluun perustuvan tutkimuksen välimaastoon. Tutkimuksellinen kehittäminen voi saada alkunsa organisaation kehittämistarpeista tai halusta uudistua, kuten tässäkin opinnäytetyössä. Sen avulla pyritään ratkaisemaan käytännöstä nousseita ongelmia ja uudistamaan käytäntöjä. Siinä kehittämistä tuetaan keräämällä tietoa käytännöstä ja teoriasta systemaattisesti sekä kriittisesti arvioimalla sitä. Tutkimuksellisessa kehittämistyössä toteutetaan käytännön parannuksia tai kokonaan uusia ratkaisuja. Pääpaino onkin käytännön kehittämistehtävän saavuttaminen. Tutkimuksellisen kehittämistyön eteneminen on esitetty kuvassa 1. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti, Jarmo 2015, 18–20.)



KUVA 1. Tutkimuksellisen kehittämistyön eteneminen. (mukaillen Ojasalo, Moilanen & Ritalahti, Jarmo 2015, 24.)

Opinnäytetyössä lähestymistapana on käytetty konstruktivistista tutkimusta. Konstruktio tarkoittaa tutkimuksellista kehittämistyötä, jossa pyritään luomaan uusi konkreettinen asia, joka tässä tapauksessa on virtuaalinen käyttöönotto. Konstruktioisessa tutkimuksessa tavoitteena on saada käytäntöön teoriassa perusteltu ratkaisu, joka tuo yrityksen liiketoimintaan uutta tietoa. Opinnäytetyössä konstruktio, eli suoritettu virtuaalinen käyttöönotto sidotaan tiiviisti opinnäytetyössä esitettyyn tietoperustaan. Konstruktiossa luodaan Elomatic Oy:n liiketoimintaan uutta tietoa virtuaalisen käyttöönoton toteuttamisesta. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti, Jarmo 2015, 37–38.) Kuvassa 2 esitetään konstruktioisesta tutkimuksesta etenemisen vaiheittain.



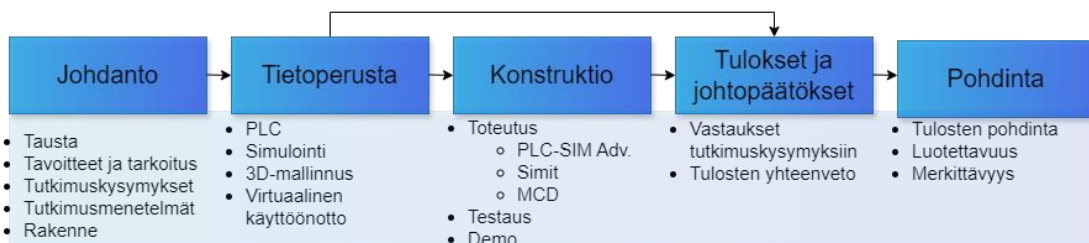
KUVA 2. Konstruktiivisen tutkimuksen eteneminen vaiheittain. (mukaillen Ojasalo, Moilanen & Ritalahti, Jarmo 2015, 67.)

Aineiston keräämisen menetelminä on käytetty dokumenttianalyysejä ja strukturoituja haastatteluja. Strukturoidussa haastattelussa on sama etukäteen suunniteltu runko kaikissa haastatteluissa. Haastattelurungosta voidaan haastattelun edetessä poiketa, mutta lähtötilanne on sama jokaisessa haastattelussa. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti, Jarmo 2015, 41.) Dokumenttianalyyseissä hyödynnetään laajasti erilaisia kirjallisia materiaaleja, joita analysoidaan kriittisesti ja mietitään, kuka ne on kirjoittanut ja mihin tarkoitukseen.

Tietoperustaan on kerätty laajasti materiaalia automaatioalan kirjoista, artikkeleista ja tieteellisistä julkaisuista, niin kotimaisia, kuin kansainvälisiäkin julkaisuja hyödyntäen. Lisäksi on haastateltu virtuaalisen käyttöönoton asiantuntijoita alan johtavilta toimijoilta.

1.3 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyön rakenne seuraa kuvassa 3 esitetyn konstruktiivisen tutkimuksen etenemistä. Tässä opinnäytetyössä tutkimuskysymyksiin haettiin vastauksia kahdesta pääkappaleesta, jotka ovat tietoperusta ja konstruktion, eli virtuaalisen käyttöönoton tekeminen. Lisäksi opinnäytetyössä on yleiset osat, eli johdanto, tulokset ja johtopäätökset sekä pohdinta. Tietoperusta ja konstruktion tuovat molemmat tietoa kaikkiin tutkimuskysymyksiin, ja tietoperusta tukee suoraan konstruktion tekemistä.



KUVA 3. Opinnäytetyön rakenne.

2 PLC JA SIMULOINTIYMPÄRISTÖ

Virtuaalisen käyttöönoton ympäristö koostuu yleensä kolmesta osasta:

- automaation (PLC) simulointi
- koneen tai prosessin simulointi
- mekaniikan simulointi.

Tässä opinnäytetyössä virtuaalinen käyttöönotto on tehty Siemens-ympäristössä, eli Siemensin ohjelmistoilla. Elomatic Oy on Siemens partneri, joten valinta käyttää Siemensiä oli siinä mielessä luonteva. Siemensillä on kattava ohjelmistokokonaisuus aiheeseen sekä hyvät referenssit, joten valinta on myös tästä syystä perusteltu. Opinnäytetyön virtuaalisen käyttöönoton ympäristö rakentuu kuvan 4 mukaisesti.

Virtuaalisen käyttöönoton ympäristö

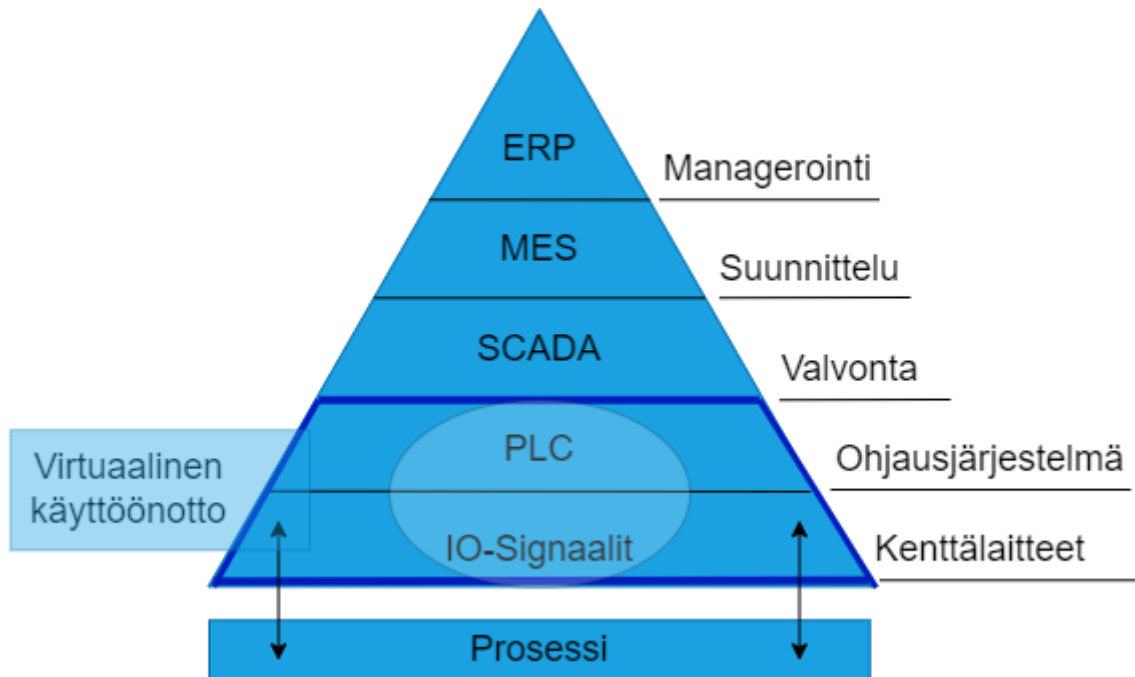


KUVA 4. Virtuaalisen käyttöönoton palaset Siemens-ympäristössä.

Nykyaikaisen laitteen tai prosessin suunnitteluprojektissa virtuaalisen käyttöönoton palasista on jo muun suunnittelun kautta olemassa automaation simulointi ja mekaniikan 3D-malli. Prosessin simulointi on ainoa, mikä joudutaan monessa tapauksessa rakentamaan tyhjästä ja ylimääräisenä virtuaalista käyttöönottoa varten. Lisäksi olemassa olevaan mekaniikan 3D-malliin pitää lisätä kinematiikka ja sen mahdollistama kappaleiden vuorovaikutus. Siemensin ympäristössä Simitissä tehdään prosessisimulointi ja se myös toimii rajapintana automaatio- ja mekaniikkasimulaation välillä. Mekaniikan 3D-mallin kinematiikka lisätään Siemens NX:n MCD-laajennuksella.

PLC:n virtuaalisen käyttöönoton sijoittumista teollisuuslaitoksen järjestelmiin voidaan tarkastella automaatiopyramidista. Automaatiopyramidi jakaa automaatiojärjestelmät viidelle eri tasolle. Ylim-

mällä tasolla yritysjohtodossa tapahtumia on viikoittain tai kuukausittain ja alimmalla tasolla sensoreissa millisekuntien välein. (ANSI/ISA–95.00.01–2000, 96.) Automaatiopyramidi on selvitetty auki kuvassa 5. Virtuaalinen käyttöönotto sijoittuu siis automaatiopyramidin alimmille tasoille.

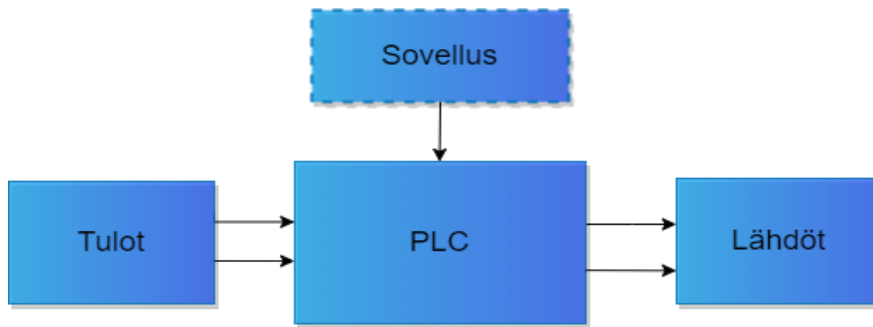


KUVA 5. Automaatiopyramidissa kuvataan automaation tasot. (ANSI/ISA–95.00.01–2000, 96.)

2.1 PLC-järjestelmät

PLC, eli Programmable logic controller on automaatiojärjestelmän tärkein osa, jonka ympärille kaikki muu automaatio rakentuu. PLC on mikroprosessiohjattu laite, jolla ohjataan koneita ja prosesseja. Yleensä nämä ovat teollisia prosesseja, jotka sisältävät esimerkiksi moottoreita, pumppuja, venttiileitä ja muita laitteita. Samalla PLC:llä pystytään toteuttamaan hyvin erilaisia ohjausjärjestelmiä. PLC:t ovat mukautuvia ja myös varsin kustannustehokkaita. PLC onkin eräänlainen tietokone, joka on suunniteltu teolliseen ympäristöön. (Mehta & Jaganmohan 2015, luku 2.1.)

Yksinkertaistettuna PLC koostuu sisääntuloista, ulostuloista ja sovellusohjelmasta. Sovellusohjelma määrittää ulostulojen tilat sisääntulojen mukaan. Sisääntulot voivat olla antureita, kytkimiä ja muita laitteita ja ulostulot puolestaan vaikkapa edellä mainittuja moottoreita, pumppuja ja venttiileitä. Kuvassa 6 esitetään PLC:n periaate. (Mehta & Jaganmohan 2015, luku 2.1.)



KUVA 6. Yksinkertaistettu PLC:n periaate. Sovellus ohjaa lähtöjen tilaa tulojen tilojen mukaan. (Mehta & Jaganmohan 2015, luku 2.1.)

Lähes kaikki PLC:t tarvitsevat syötteitä tai ohjausta ihmiseltä. Yksi yleisimpiä teknologioita tähän on HMI, eli human machine interface. HMI on laaja käsite ja sillä voidaan tarkoittaa mitä tahansa teknologiaa, jolla voidaan ohjata PLC:tä. Yleensä sillä kuitenkin tarkoitetaan kosketusnäyttöä tai näyttöä fyysisillä painikkeilla. Nykyisin ainoastaan hyvin yksinkertaiset prosessit toteutetaan ilman HMI:tä. (Rajasekar ym. 2023, luku 6.2.)

HMI tuo PLC-järjestelmään lisäarvoa. Se voi toimia passiivisena diagnostiikka- ja hälytysympäristönä tai koko järjestelmä voi olla ohjelmoitu toimimaan käyttäjän jatkuvien syötteiden mukaan. PLC-järjestelmä voi sisältää monta eri HMI:tä, joilla on erilaiset käyttötarkoitukset. Esimerkiksi yhdestä voidaan ohjata prosessia aktiivisesti ja toista käytetään vikatilanteissa. HMI:t ovat PLC:n tapaan vapaasti ohjelmoitavia. Ne ohjelmoidaan käyttöympäristön, käyttötarkoituksen ja kohderyhmän mukaan. Siemensin HMI on esitetty kuvassa 7. (Rajasekar ym. 2023, luku 6.2.)



KUVA 7. Tyypillinen HMI kosketusnäytöllä (Siemens 2024.)

Eri valmistajien PLC-järjestelmille tehdyt ohjelmat eivät yleensä ole yhteensopivia keskenään. Jopa saman valmistajan eri tuoteperheen tuotteiden ohjelmat eivät välttämättä ole yhteensopivia keskenään. Asiaa helpottamaan on luotu IEC 61131-3 -standardi. IEC 61131-3 -standardin tarkoitus on yhtenäistää ohjelmointia esittelemällä toimittaja- ja laitteistoriippumaton PLC-ohjelmointi standardi. Standardi asettaa säännöt sille, millaisilla ohjelmointityökaluilla ja menetelmillä PLC-ohjelmoinnin täytyy tapahtua. Jos siis ohjelmoija oppii yhden valmistajan PLC:n ohjelmoinnin, on siirtyminen toisen valmistajan PLC:n ohjelmointiin helppoa. On kuitenkin tärkeä erottaa, että ohjelmat eivät suoraan toimi eri laitteistojen välillä yhteisestä standardista huolimatta. Suurimmat syyt tähän ovat erilaiset laitteistoarkkitehtuurit ja erilaiset ohjelmiston kääntäjät. (White 2023, luku 1.)

IEC 61131-3 -standardi määrittelee seuraavat viisi ohjelmointikieltä:

- Ladder Diagram
- Sequential Flow Charts
- Function Block Diagrams
- Instruction List
- Structured Text.

Kaikki asiat voidaan periaatteessa tehdä jokaisella ohjelmointikielellä. Jokaisella kielellä on kuitenkin omat vahvuutensa tietynlaisiin sovelluksiin. Tästä syystä PLC:t ohjelmoidaan monesti yhdistelemällä eri kieliä. Ohjelmointikielien esittelyä tarkemmin seuraavissa alaluvuissa. (White 2023, luku 1.)

2.1.1 Ladder Diagram (LD)

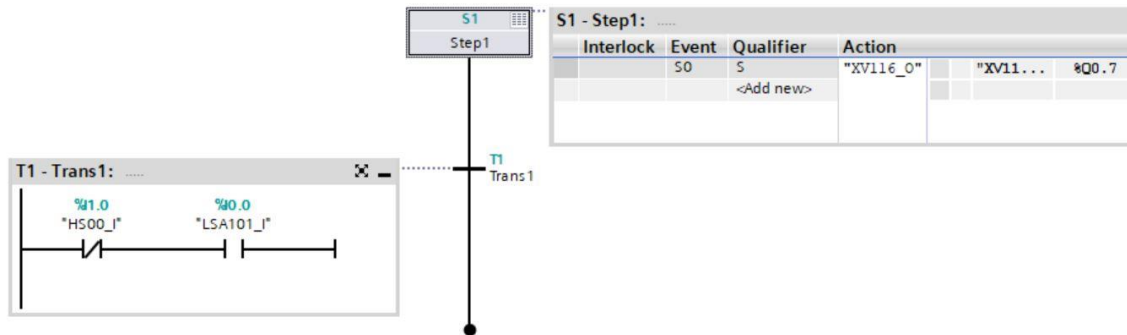
Ladder Diagram on graafinen ohjelmointikieli. Se kehitettiin korvaamaan monimutkaiset teollisuuden relelogiikat ja johdotukset. Ladderia pidetään perus PLC-ohjelmointikielenä ja se on hyvä kieli aloittelijalle. Kuvassa 8 on esimerkki ladder ohjelmoinnista. (White 2023, luku 1.)



KUVA 8. Ladder ohjelmointia

2.1.2 Sequential Flow Charts (SFC)

Sequential Flow Charts, eli SFC on myös graafinen ohjelmointikieli. SFC mahdollistaa monimutkaisten ohjelmien jakamisen pienempiin palasiin ja siten helpomman kokonaisuuden hallinnan. Se soveltuu hyvin sekvenssiluonteisten ohjelmien tekemiseen. Kuvassa 9 on esimerkki SFC ohjelmoinnista. (White 2023, luku 1.)



KUVA 9. SFC ohjelmointia Siemens TIA Portalissa Graph-sovelluksella.

2.1.3 Function Block Diagrams (FBD)

Function Block Diagrams, eli FBD on IEC61131-3 -standardin kolmas ja viimeinen graafinen ohjelmointikieli. FBD on hyvin laajasti käytetty PLC-ohjelmointikieli, ja se soveltuu hyvin ylemmän tason ohjelmointiin, koska sillä voi helposti yhdistellä muita ohjelmalohkoja. Se soveltuu myös kohtalaisen monimutkaisiin ohjelmiin. Kuvassa 10 on esimerkki FBD ohjelmoinnista. (White 2023, luku 1.)



KUVA 10. FBD ohjelmointia Siemens TIA Portalissa.

2.1.4 Instruction List (IL)

Instruction List, eli IL on tekstipohjainen ja vähän käytetty ohjelmointikieli. Se on monimutkainen käyttää ja vaatii tarkkuutta, koska sillä syntyy helposti pahoja virheitä. Sen etuja puolestaan ovat nopeus ja pieni muistin käyttö. Kuvassa 11 on esitetty IL ohjelmointia. (White 2023, luku 1.)

1	AN	"HS00_I"	§I1.0
2	A	"LSA101_I"	§I0.0
3	S	"XV116_O"	§Q0.7

KUVA 11. IL ohjelmointia Siemens TIA Portalissa STL-sovelluksella.

2.1.5 Structured Text (ST)

Ohjelmointikielenä Structured Text, eli ST on lähellä perinteisiä tekstipohjaisia ohjelmointikieliä ja onkin yleensä tietokoneohjelmointia osaavalle helppo oppia. ST-ohjelmointikieltä pidetään tulevaisuuden ohjelmointikielenä. Koneoppiminen, liikeohjaus ja muut kehittyneet teknologiat ovat vaikeita toteuttaa muilla, kuin ST-ohjelmointikielillä. Kuvassa 12 on esimerkki ST ohjelmoinnista. (White 2023, luku 1.)

```
IF "HS00_I"=FALSE AND "LSA101_I"=TRUE THEN  
    "XV116_O" := TRUE;  
END_IF
```

KUVA 12. ST Ohjelmointia Siemens TIA Portalissa SCL-sovelluksella

2.2 Simulointi

Simulaatio on todellisuuden jäljittelyä. Yleisellä tasolla simulaatio voidaan määritellä prosessiksi, jossa oikeaa järjestelmää tai prosessia jäljitellään erilaisten menetelmien, kuten tietokonesovellusten tai fysikaalisten mallien avulla. Tämän perusteella kaikki oikean prosessin tai järjestelmän jäljittely on simulaatiota. Yleensä simulaatiossa esitetään tapahtumia ajan kuluessa ja eri olosuhteiden aiheuttamia muutoksia simuloitavaan tapahtumaan. (Bandyopadhyay ym. 2014, luku 1.1; Ugarte ym. 2022, luku 2.1).

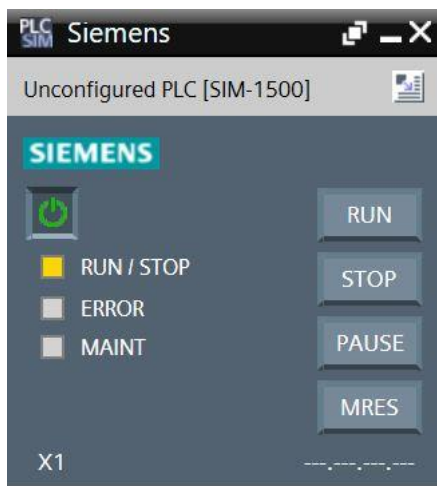
PLC:itä voidaan yleensä simuloida kyseisen järjestelmän omilla ohjelmointityökaluilla. Simuloidulla PLC:llä testataan PLC-sovelluksen toiminta simuloimalla sen tuloja ja lähtöjä. Simuloinnin tarkoitus on löytää virheet ja testata ohjelman toiminnot ennen varsinaista fyysistä laitteistoa. (Bolton 2021, luku 7.5.)

PLC:n simuloinnilla saavutettavia etuja ovat esimerkiksi:

- PLC-projektien laadun parantaminen varhaisen virheen havaitsemisen avulla
- laitteistokustannuksien pieneneminen, kun fyysistä laitteistoa ei tarvita
- nopea reagointi PLC-sovelluskoodin virheisiin
- käyttöönoton riskien väheneminen
- mahdollisuus kouluttaa operaattoreita simuloidussa ympäristössä
- tuotannon tehokkuuden parantaminen optimoimalla ohjelmistoa.

(Siemens AG Digital industries 2021, luku 2.1.)

Siemensin TIA Portalilla tehtyjä PLC-sovellusohjelmia simuloidaan PLC-SIM nimisellä ohjelmalla, jonka käyttöliittymä on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Siemens PLC-SIM ohjauspaneeli. PLC-SIM simuloi fyysistä Siemens PLC:tä.

PLC-simulointi ei ole täysin sama asia, kuin sovellusohjelman suorittaminen fyysisellä PLC:llä. PLC-simulaatio on ohjelma, joka ajetaan PC-tietokoneella. Tällä yhdistelmällä ei päästä täysin samaan kierrosaikaan (cycle-time), kuin fyysisellä PLC:llä. Tämä korostuu hitaalla PC-tietokoneella ja suurilla, aikakriittisillä PLC-sovelluksilla. Myös muut sovellukset vievät osansa PC-tietokoneen tehosta, mikä vaikuttaa simulaatioon. (Siemens AG Digital industries 2022, luku 3.7.)

Myös teollisuuden prosessien suunnittelussa käytetään laajasti simulointiohjelmistoja. Simulointiohjelmistoilla voidaan nopeasti mallintaa monimutkaisia prosesseja. Simulointiohjelmistojen avulla voidaan myös ratkaista prosessin käyttöön ja toimintaan liittyviä ongelmia ja ne tarjoavat nopean tavan tutkia, miten muuttuvat olosuhteet vaikuttavat prosessin käyttäytymiseen. (Gummerus 2021, 18.)

Simuloinnissa täytyy myös muistaa pienin mahdollinen kierrosaika, millä prosessia voidaan simuloida. Simuloitaessa laitetta tai prosessia Siemens Simitissä, pienin mahdollinen kierrosaika on millisekunti, mutta käytännössä PC-koneen teho ja simulaation vaativuus sekä laajuus määrittävät sen, mihin kierros aikaan pystytään. Simulointi prosessi puolestaan määrittää sen, kuinka nopeaan simulaation täytyy pystyä. Esimerkiksi liikkuvissa koneissa kierrosaika on paljon kriittisempi, kuin jatkuvassa prosessissa. (Siemens AG Digital industries 2024, Time Slices.)

2.3 3D-mallinnus

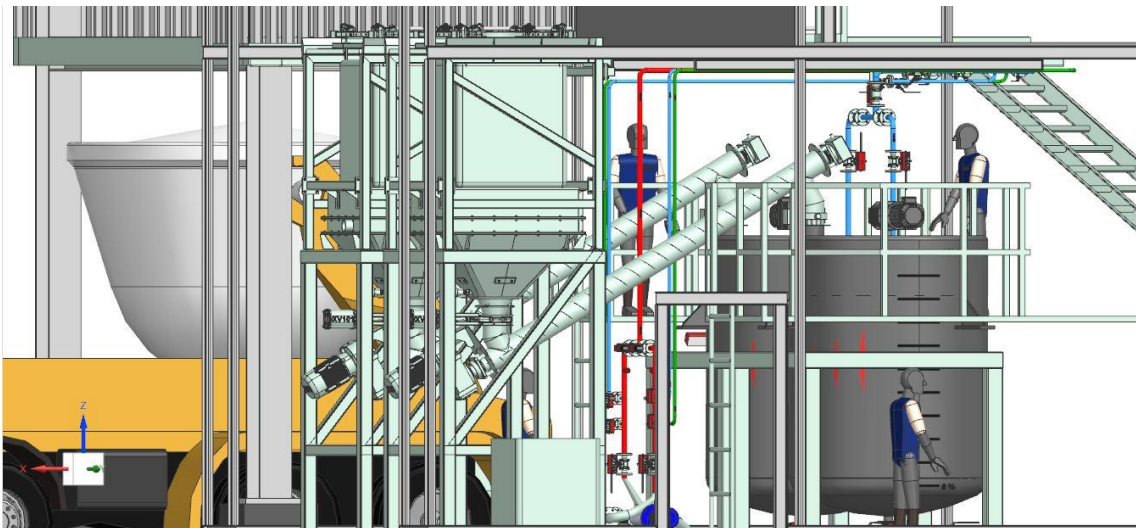
3D-mallinnuksella tarkoitetaan yleisesti ottaen kolmiulotteista suunnitteluprosessia käyttäen tietokoneen CAD-ohjelmistoja. 3D-mallinnusta hyödynnetään laajasti eri suunnittelualoilla, kuten teollisuudessa, arkkitehtuurissa, rakentamisessa ja erilaisissa tuotekehityksessä. 3D-mallinnusta hyödynnetään myös elokuvateollisuudessa ja videopeleissä. (Autodesk 2024.)

CAD-ohjelmien taustalla toimivat monimutkaiset matemaattiset kaavat ovat 3D-mallinnusohjelmien perusta. Käyttäjän ei tarvitse niistä kuitenkaan välittää, vaan ohjelmistot tarjoavat käyttäjälle työkalupohjaisen graafisen käyttöliittymän. (Siemens PLM 2023.)

Tietokoneella piirrettyjä 3D-malleja voidaan muuttaa fyysisiksi objekteiksi 3D-tulostamisen tai perinteisten valmistusprosessien avulla. Mallit voidaan myös tulostaa staattiseksi kuvaksi, joita yleisesti käytetään fotorealistiseen esittämiseen myynti-, markkinointi- ja verkkokauppa-sovelluksissa. 3D-malleja voidaan tuoda tietokoneelle käänteisen prosessin avulla, jossa 3D-skannausteknologiaa käyttämällä luodaan digitaalisia kopioita todellisista objekteista. (Siemens PLM 2023.)

Mekaniikkasuunnittelussa on laajasti käytössä 3D-mallinnus, mikä mahdollistaa laitteen tai minkä tahansa kappaleen visuaalisen mallinnuksen, jolloin sitä on helppo tarkistella ja muokata. Mekaniikkasuunnittelussa tuotettu 3D-malli on myös virtuaalisessa käyttöönotossa tehdyn mekaniikkasimuloinnin perusta.

Eri valmistajien CAD-sovellukset tallentavat tiedot omassa formaatissaan, joka ei yleensä ole yhteensopiva muiden valmistajien CAD-sovellusten kanssa. Tätä eri alustojen välistä ongelmaa helpottamaan on luotu yleismallinen STEP-formaatti (Standard for the Exchange of Product Data), joka tunnetaan myös nimellä ISO 10303. STEP-formaatissa säilyy kaikki yksityiskohdat, eli mitään ei katoa natiiviformaattiin verrattuna. Nykyään suunnittelutyössä hyödynnetään lähes poikkeuksetta 3D-mallinnusta, joka on myös vaatimuksena virtuaaliselle käyttöönotolle (Adobe 2023; af Hällström 2024; Sorvari 2024). Kuvassa 14 on esitetty tyypillinen mekaniikkasuunnittelussa tuotettu 3D-malli.



KUVA 14. Outokumpu Oyj:n kuonapatapinnoituslaitteiston 3D-malli. (Elomatic 2024a.)

2.4 Virtuaalinen käyttöönotto

Oikeassa, eli fyysisessä laitteen käyttöönotossa on kaksi tärkeää vaihetta, jotka ovat FAT (Factory Acceptance Test) - ja SAT (Site Acceptance Test) -testaus. Ne ovat keskeisiä vaiheita uuden laitteen käyttöönotossa, varmistaen laitteen toimivuuden ja vaatimustenmukaisuuden sekä ennen toimitusta (FAT) että lopullisessa käyttöpaikassa (SAT). (Miglierini 2022.)

FAT-testauksessa tarkastetaan laitteen kunto ja toiminta valmistajan tiloissa varmistaen, että se vastaa tilaajan vaatimuksia. Tavoitteena on tunnistaa ja korjata mahdolliset virheet ennen laitteen toimitusta, mikä säästää aikaa ja kustannuksia. FAT-testaus suoritetaan usein kolmannen osapuolen tarkastajan ja tilaajan edustajan läsnä ollessa. Kaikki testauksen dokumentit, piirustukset, tarkistuslistat ja kalibrointitiedot toimitetaan asiakkaalle analysoitaviksi ja tarkastettaviksi. (Miglierini 2022.)

SAT-testauksessa tarkastetaan laitteen toiminta sen lopullisessa käyttöpaikassa todellisissa käyttöolosuhteissa asennuksen jälkeen. Kaikki FAT-testauksessa havaitut kriittiset asiat tarkistetaan uudelleen, ja tarvittaessa lisätään uusia testejä mahdollisten vikojen varalta. SAT-testauksessa tarkastellaan esimerkiksi laitteiden välisten yhteyksien toimivuutta, turvallisuusjärjestelmiä ja myös annetaan henkilöstölle koulutusta. (Miglierini 2022.)

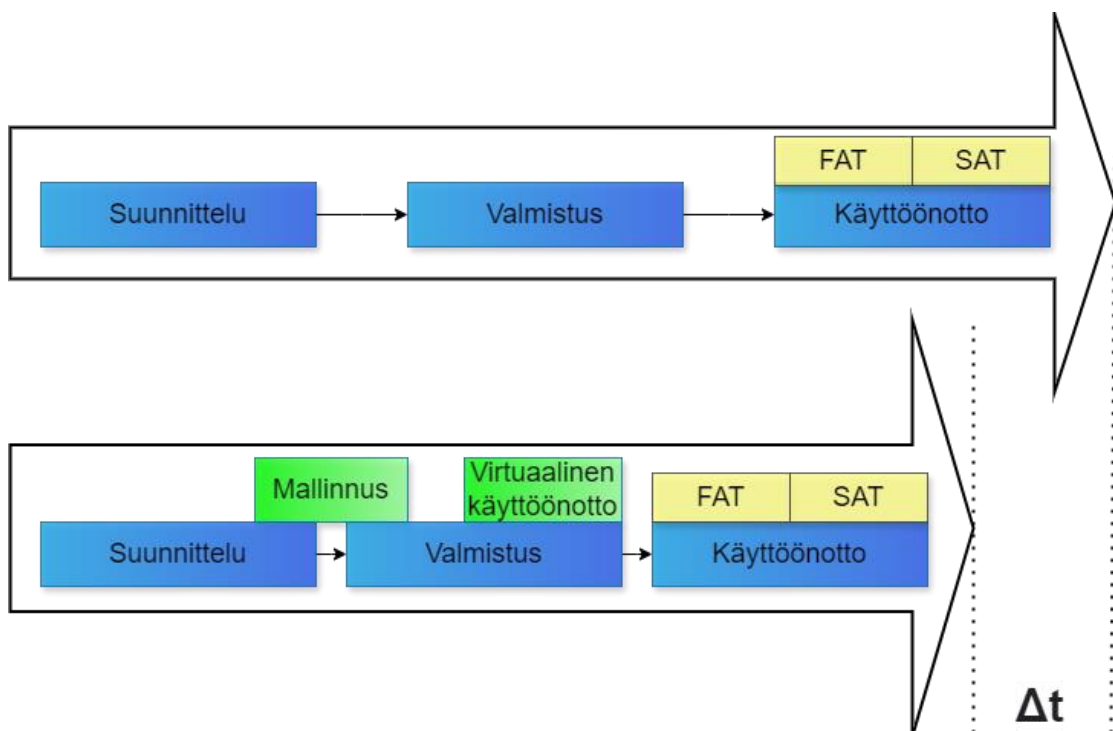
Teollisuuden tuotantolinjojen elinajat ovat lyhentyneet, mikä tarkoittaa sitä, että uusien laitteiden käyttöönottoja on yhä useammin. Käyttöönottoa voidaan nopeuttaa toteuttamalla se etukäteen simuloidussa ympäristössä. Tätä simuloidussa ympäristössä tehtävää käyttöönottoa kutsutaan virtuaaliseksi käyttöönotoksi. (Lechler ym. 2019.)

Virtuaalinen käyttöönotto tarkoittaa pelkistettynä todellisen tuotantokoneen tai ohjausjärjestelmän testausta virtuaalisesti. Tämä toteutetaan ennen todellisen koneen tai laitteen käyttöönottoa. Virtuaalista käyttöönottoa hyödynnetään yhtäaikaiseen automaatio-ohjelmiston kehittämiseen ja testaukseen. Virtuaalisen käyttöönoton avulla käyttöönotto voidaan aloittaa, ennen kuin todellinen kone tai laite on valmis. Tämä lyhentää todellisen järjestelmän käyttöönottoa sen valmistuttua. (Välimäki & Niemelä 2023, 198.)

Teollisuudessa tarve ja kysyntä virtuaaliselle käyttöönotolle ovat lisääntyneet. Toimitusketjun ongelmat, kuten komponenttien huono saatavuus ja pitkät toimitusajat ajavat entistä useampia organisaatioita hyödyntämään virtuaalista käyttöönottoa, jotta projektien aikataulut saadaan pitämään. Usein raskaat FAT- ja SAT-testaukset saadaan nopeammin ja stressittömämmin läpi, kun osa työstä voidaan tehdä aiemmin virtuaalisella käyttöönotolla. Osa asiakkaista liittyy virtuaalisen käyttöönoton vaatimuksena jo tarjouskyselyvaiheeseen. Paras tilanne olisi, jos virtuaalinen käyttöönotto olisi osa yrityksen tuotekehitystä ja järjestelmäsuunnittelua. (af Hällström 2024; Sorvari 2024; Metsälä 2023; Välimäki & Niemelä 2023, 199).

2.4.1 Virtuaalisen käyttöönoton hyötyjä

Virtuaalinen käyttöönotto aloitetaan jo suunnittelun yhteydessä, mikä auttaa havaitsemaan virheet tai epäkohdat jo varhaisessa vaiheessa suunnittelua. Virheiden korjaaminen on tässä vaiheessa halvempaa ja nopeampaa, kuin oikean käyttöönoton tapahtuessa. Lisäksi liikkuvien koneiden yhteydessä saadaan turvallisuushyötyjä, kun oikeassa koneessa ei tapahdu odottamattomia liikkeitä. (Välimäki & Niemelä 2023, 198.) Kuva 15 havainnollistaa virtuaalisen käyttöönoton vaikutuksen projektin läpivientiin.



KUVA 15. Virtuaalinen käyttöönotto nopeuttaa projektin läpivientiä perinteiseen tapaan verrattuna (mukailien Jain, Atul, Daniel Alexander, Vera & Harrison, Robert 2010, 73).

Virtuaalinen käyttöönotto parantaa insinööriyön laatua ja tehokkuutta samalla, kun se vähentää suunnitteluun tarvittavaa aikaa. Se on tärkeä tekijä edistyksellisten ja kestäväen kehityksen järjestelmien suunnittelussa. Virtuaalinen käyttöönotto ja siinä syntyneet mallit ovat hyödyllisiä myös oikean käyttöönoton jälkeen. Niitä voidaan hyödyntää jatkossa kehitystyötä ja muutoksia tehtäessä valmiissa laitteissa tai prosesseissa. Virtuaalinen käyttöönotto ei ole vielä kovin laajassa käytössä. Toistaiseksi virtuaalisen käyttöönoton hyödyntäjiä ovat olleet enimmäkseen suuret yritykset, eikä se ole vielä vakiinnuttanut paikkaansa pienissä- ja keskisuurissa yrityksissä. (Lechler ym. 2019; Striffler & Voigt 2023).

Tyypillisesti virtuaalinen käyttöönotto parantaa PLC-koodin laatua. Simulointi on laajempaa, ja varsinkin anturi- ja laitevikojen vaikutukset järjestelmän toimintaan tulee selvitettyä paremmin. Aiemmissä alan tutkimuksissa on osoitettu, että perinteisessä käyttöönotossa 90 % käytetystä ajasta kuluu sähkö- ja automaatiojärjestelmien parissa. Tästä ajasta 70 % menee PLC-sovellusohjelman korjauksiin. Käyttöönotossa kulutettu aika on erityisen kallista. (Metsälä 2023; Striffler & Voigt 2023, 664).

Virtuaalisen mallin avulla voidaan kouluttaa operaattoreita ennen oikeaa käyttöönottoa. Tämän hyödyntäminen on selvästi yleistynyt viime aikoina. Operaattorin koulutus voi todellisessa ympäristössä olla hidasta, riskialtista tai vaikeaa tuotannon käydessä. Myös tietyt viat esiintyvät harvoin ja niitä voi olla vaikea toistaa todellisessa ympäristössä. Näitä voidaan harjoitella virtuaalisen mallin avulla. (Metsälä 2023.)

PLC:n testaus voidaan aloittaa aikaisemmassa vaiheessa riippumatta osatoimituksista ja muista ulkoisista tekijöistä. Fyysisen laitteiston käyttöönottovaihe voidaan tehdä siten nopeammin, sekä saadaan lisättyä toimitusnopeutta sekä toimitusvarmuutta. Suunnitteluvirheet huomataan aiemmin, eivätkä ne aiheuta henkilövahinkoja tai laitteistorikkoja. Mahdollisiin muutoksiin ehditään myös vaurutamaan ennen varsinaista käyttöönottovaihetta. Simulointiympäristössä ei ole virheellisiä tai virallisia komponentteja, eikä aika kulu tehtaalla kävelen suurten laitteistojen osalta. (af Hällström 2024; Sorvari 2024).

Yleisesti virtuaalinen käyttöönotto tehostaa kommunikaatiota eri sidosryhmien välillä. Sitä käyttäessä kaikki osapuolet, erityisesti henkilöt, joille tekniset piirustukset eivät ole tuttuja, saavat aikaisemmassa vaiheessa selkeän kuvan siitä, millainen lopputulos tulee olemaan. Virtuaalisessa käyttöönotossa saadaan simulointiin lisää tarkkuutta, jolloin nähdään, kuinka laitteisto toimii oikealla PLC:llä. (af Hällström 2024; Sorvari 2024).

Virtuaalisen käyttöönoton hyödyt realisoituvat usein vasta suunnitteluvaiheen jälkeen käyttöönotto- ja operaatiovaiheissa. Suunnittelun aikainen digitaalisen kaksosen kehittäminen auttaa löytämään mahdollisia ongelmakohtia ja parantamaan lopputuloksen laatua. (af Hällström 2024; Sorvari 2024).

Aina virtuaalinen käyttöönotto ei ole perusteltua. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi hyvin pienet projektit sekä laitteet ja prosessit, joita on jo tehty aikaisemminkin. Joitakin tapahtumia voi olla vaikea tai mahdoton mallintaa olemassa olevilla työkaluilla ja sellaiset pitää rajata ulos virtuaalisesta käyttöönotosta. Myös loppuasiakkaan sitoutuminen virtuaaliseen käyttöönottoon on tärkeää sen onnistumiselle. Henkilöiden tarvittavien tietojen ja taitojen puuttuminen luovat suurimmat haasteet virtuaaliseen käyttöönottoon. Tyypillisesti osaaminen on jakautunut siten, että asiantuntijat osaavat joko automaatio-, robotti- tai mekaniikkasuunnittelun. Näitä työntekijöitä pitää kouluttaa ja motivoita uusien ohjelmien ja käytäntöjen oppiseen, tai vaihtoehtoisesti palkata 3D-simulointiasiantuntija, joka osaa hieman näitä kaikkia, sekä mahdollisesti Python-ohjelmointia. (Metsälä 2023; af Hällström 2024; Sorvari 2024).

Virtuaalisessa käyttöönotossa standardien puute ja eri ohjelmistojen integroitavuus saattaa olla haaste. Yleisluontoisia protokollia on jo hyvin saatavilla, joten edistystä tähän on tapahtunut. Tarvittava suorituskyky on myös yleinen haaste. Simulointilaitteistolla on aina pullonkaula jossain. Jos suorituskykyä tarvitaan lisää, voidaan sitä optimoimalla parantaa tiettyyn pisteeseen asti, mikä vaatii virtuaalisen käyttöönoton tekijältä osaamista. Toinen vaihtoehto on paremman suorituskyvyn omaava laitteisto, joka puolestaan vaatii investointia. (af Hällström 2024; Sorvari 2024).

2.4.2 Virtuaalisen käyttöönoton vaatimukset suunnittelutyölle

Nykyisin suunnittelukokonaisuus tehdään yleensä selkeinä peräkkäisinä vaiheina jokainen suunnittelulaji omalla vuorollaan. Kyseiset suunnitteluvaiheet ovat yleisesti ottaen ja aikajärjestyksessä mekaniikka-, sähkö-, ja automaatio-suunnittelu. Pahimmillaan nämä eri suunnittelulajit kohtaavat ensimmäisen kerran vasta käyttöönotossa. Tästä seuraa aina viivettä tarvittavien säätöjen ja yhteensovittamisen takia. (Hoffman ym. 2010, 1; Jain ym. 2010, 73).

Automaatio-suunnittelua pitää usein aikaistaa, jos halutaan hyödyntää virtuaalista käyttöönottoa. Muuten simuloinnissa huomattavat asiat eivät ehdi vaikuttaa muuhun suunnitteluun, kuten prosessi- ja mekaniikkasuunnitteluun. Tuotekehitysprojekteissa virtuaalinen malli voi elää koko projektin ajan. Kun uusia asioita tai ongelmia huomataan, niihin voidaan reagoida selvittämällä asiat virtuaalimallista, eikä uusien fyysisten prototyyppien rakentaminen ole välttämätöntä. Suunnittelun työkuorma jakautuu tasaisemmin koko projektin ajalle. Virtuaalisen käyttöönoton tekee yleensä automaatiohenkilö ja työkalut ovat rakennettu niin, että automaatiohenkilön on helppo omaksua ne.

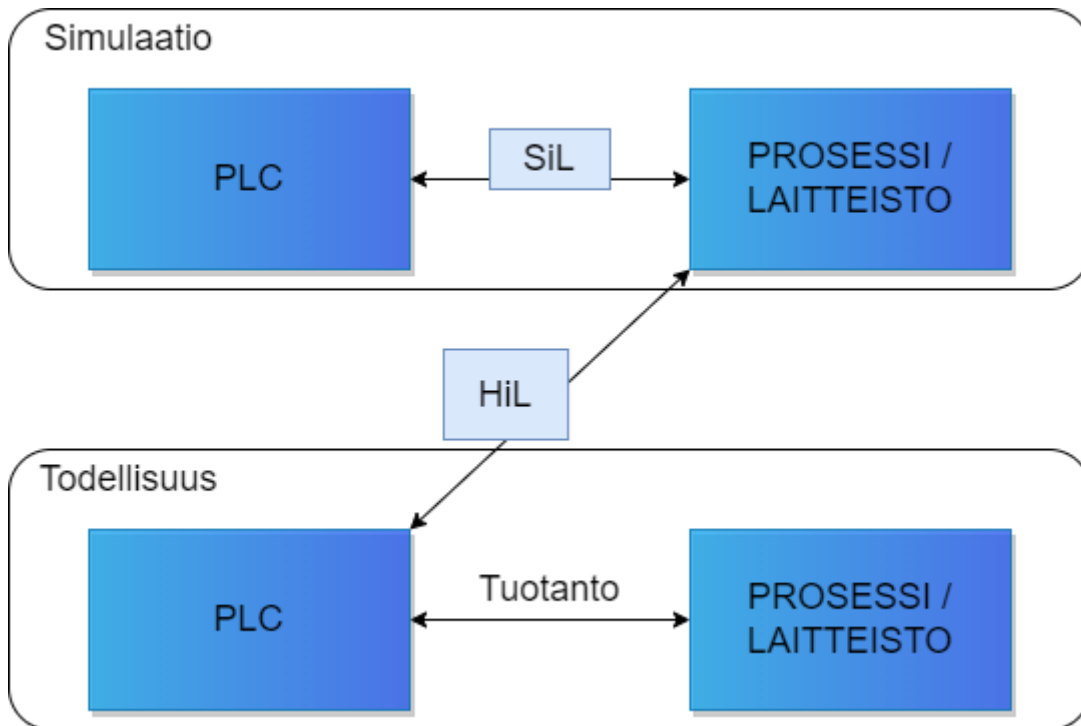
Joissakin isoissa yrityksissä voi olla erikseen kohdennettu henkilö virtuaalisille käyttöönotoille. (Metsälä 2023.)

Perinteisessä lähestymistavassa joudutaan odottamaan, että tuotantolaitteisto on fyysisesti olemassa. Osatoimitukset pitää olla vastaanotettu alihankkijoilta ja koko laitteisto pitää olla suunniteltu, valmistettu ja kokoonpantu. Vasta tämän jälkeen voidaan aloittaa käyttöönotto. Puuttuva osatoimitus tai viive tuotannossa saattaa viivästyttää aloituspäivää, sekä sitä kautta koko laitteiston toimistusta ja ylös ajoa. Virtuaalisessa käyttöönoton tapauksessa voidaan aloittaa tuotantolaitteiston PLC:n testaus digitaalisessa ympäristössä. (af Hällström 2024; Sorvari 2024).

Automaatiosuunnittelun pitää olla suunnitteluprosessissa enemmän mukana ja osallistua siihen normaalia aikaisemmassa vaiheessa. Automaatiosuunnittelijoiden pitää opetella simulointiympäristön käyttämistä ja suunnitella ympäristö niin, että PLC:tä voidaan ajaa sekä simulointiympäristössä, että oikeaa laitteistoa vasten. Tällöin virheiden etsiminen ja korjaaminen voidaan aloittaa aiemmin, ja aikaa säästyy kriittisissä FAT- ja SAT-vaiheissa. Kokonaisuutena suunnitteluprojektiin joudutaan varaamaan hieman enemmän aikaa ja automaatiosuunnittelu pitää sitouttaa siihen mukaan. (af Hällström 2024; Sorvari 2024).

2.4.3 Virtuaalisen käyttöönoton tekniikkaa

Striffler & Voigt (2023: 664–666) ovat käyneet laajasti läpi aiempia tutkimuksia virtuaalisen käyttöönoton tekniikoista. He toteavat virtuaaliseen käyttöönottoon olevan yleisesti kaksi eri lähestymistapaa. Software in the loop (SiL) ja hardware in the loop (HiL). SiL on lähestymistapa, jossa virtuaalinen käyttöönotto tehdään kokonaan simuloitussa ympäristössä ilman oikeita laitteita. PLC, sensorit, toimilaitteet ja prosessi ovat simuloituja. HiL puolestaan sisältää oikean PLC:n, mutta on muilta osin simuloitu ympäristö. Kuvassa 16 esitetään SiL ja HiL sekä niiden erot.



KUVA 16. HiL ja SiL visualisoituna. (Lee, Chi & Park, Sang 2023, 214.)

Striffler & Voigt (2023: 664–666) käymien tutkimuksien mukaan SiLin tärkeimpiä etuja on, ettei se tarvitse fyysistä PLC:tä, mikä säästää rahaa. SiL ei myöskään tarvitse välttämättä valtavasti laskentatehoa reaaliaikaiseen simulaatioon, vaan virtuaalinen aika-akseli mahdollistaa ajan hidastamisen tai nopeuttamisen tarpeen mukaan. Simulaation ajan nopeuttaminen voi myös tuoda merkittäviä hyötyjä, kun asioita pystytään testaamaan paljon oikeaa elämää nopeammin. Tämä mahdollistaa myös hyvin monimutkaisten laitojen simuloimisen. Yksi merkittävä SiLin etu on myös mahdollisuus muokata prosessia tai laitteistoa nopeasti ja halvalla, kun ei ole fyysistä prototyyppiä, vaan simulaatio. Myös PLC-kokoonpanoa on helppo muuttaa tarpeen mukaan.

HiLin etuna on Striffler & Voigt (2023: 664–666) tutkimuksien mukaan onnistuneen virtuaalisen käyttöönoton jälkeen käyttövalmis ohjauslaitteisto. PLC on siis valmis käyttöön sellaisenaan ja myös kaikki signaalien- ja rajapintojen väliset todelliset viiveet tulee testattua. Tällöin voidaan olla varmoja, ettei tule yllättäviä ohjauslaitteiston vikoja, jotka ovat mahdollisia SiL-testauksen jälkeen. HiL asettaa kovia vaatimuksia simulaation pyörittävälle laitteistolle, koska toisin kuin SiLissä, aikaa ei voida hidastaa tai nopeuttaa, vaan toimitaan oikeassa ajassa.

Virtuaalinen käyttöönotto voidaan tehdä eri ohjelmistoilla, eikä se ole valmistajariippuvainen. Virtuaalisen käyttöönoton mahdollistavia ohjelmistoja ovat esimerkiksi Siemens Simit, Siemens MCD, Visual Components, Emulate3D ja XCelgo. (Ugartea ym. 2022, 532.)

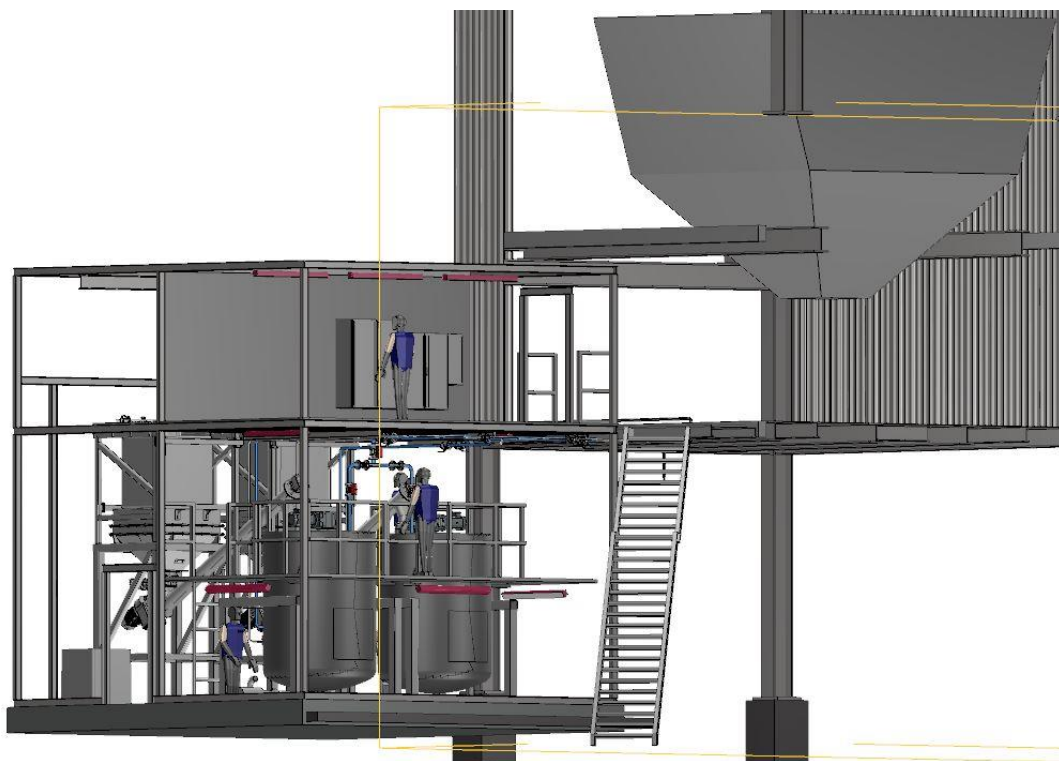
Virtuaalisen käyttöönoton tuominen olemassa oleviin suunnittelukäytäntöihin on vaikeaa useista syistä, joista suurimpina voidaan pitää suurta työmäärää ja sitä kautta kustannusvaikutuksia sekä virtuaalisen käyttöönoton monimutkaisuutta. Kustannuksien osalta on kuitenkin huomioitavaa, että virtuaalinen käyttöönotto ei nosta projektin kokonaiskuluja, koska se tuo myös mukanaan säästöjä. Virtuaalinen käyttöönotto tehostaa suunnittelua, käyttöönottoa ja siitä saadaan elinkaarihyötyä, mistä tulee säästöjä. Rahassa on myös hankala mitata saatua lisäarvoa, jota syntyy esimerkiksi paremmasta PLC-koodista. (Hoffman ym. 2010, 1; Metsälä 2023).

Virtuaalisen käyttöönoton työmäärää, ja sitä kautta hintaa arvioidessa tarvitaan useampia lähtötietoja. Tarvitaan mielellään I/O-pisteiden määrä, toimintaselostus ja 3D-malli. Myös tarvittavat ohjelmistolisenssit vaikuttavat oleellisesti kustannuksiin. Tuntimäärää on vaikea arvioida pelkästään I/O-muuttujien perusteella. Suunnitteluprojektin kompleksisuus ja virtuaalisen käyttöönottoon tarvittava tuntimäärää riippuu hyvin pitkälle itse laitteesta tai prosessista. Virtuaalista käyttöönottoa varten tehdyn mallin tarkkuus ja laatu vaikuttavat myös huomattavasti tuntimääräarvioon. Usein virtuaalissa käyttöönotossa voidaan käyttää pelkistettyjä malleja, sekä voidaan testata tuotantolinjasta osakokonaisuus kerrallaan. Toisaalta joissain tapauksissa on hyödyllistä luoda tarkempia malleja, jotka vastaavat mahdollisimman hyvin todellisuutta. Työmäärää arvioidessa on syytä hyödyntää aiempaa kokemusta vastaavista projekteista, ja ottaa huomioon nykyisen tiimin kokemus virtuaalisen käyttöönoton vaatimista tekniikoista. (Metsälä 2023; af Hällström 2024; Sorvari 2024).

3 PINNOITUSLAITTEISTON VIRTUAALINEN KÄYTTÖNOTTO

Osaan tutkimuskysymyksistä haettiin vastauksia toteuttamalla virtuaalinen käyttöönotto käytännössä. Tässä opinnäytetyössä virtuaalinen käyttöönotto toteutettiin oikeaan Elomatic Oy:n tekemään suunnitteluprojektiin. Suunnitteluprojekti sisälsi rakennesuunnittelun, sähkösuunnittelun, automaatio-suunnittelun ja mekaniikkasuunnittelun. Suunnitteluprojekti on toteutettu Outokumpu Oyj:n Tornion terästehtaalle syksyllä 2022. Tätä opinnäytetyötä kirjoittaessa Outokumpu Oyj ei ole vielä laitteistoa rakentanut.

Outokumpu Oyj:n terässulatolle suunniteltiin kuonapatojen pinnoitusasema. Laitteisto koostuu pinnoitusosasta ja pinnoitusaineen lietto-osasta kuvan 17 mukaisesti.



KUVA 17. Outokumpu Oyj:n kuonapatojen pinnoituslaitteisto. (Elomatic 2024a.)

Pinnoitusasemassa pinnoitetaan kuonapatoja ruiskuttamalla pinnoitusainetta padan seinämille. Pinnoitettavat kuonapadat ovat suuria ja niitä kuljetetaan kuorma-autoilla pinnoitusasemalle. Kuonapata-ajoneuvon kuljettaja ajaa kuonapadan pinnoitusasemalle ja käynnistää pinnoituksen radio-ohjauksella tai laitteiston paikallinäytöstä, HMI:stä. Pinnoituksessa pinnoitusaine pumpataan va-

rastosäiliöistä putkistoa pitkin ruiskutuspäälle. Pinnoitusainetta annostellaan haluttu määrä säätämällä ruiskutustapahtuman kesto. Pinnoitusaineen annostelun jälkeen laitteiston putkisto huuhdellaan paineilmalla tyhjäksi, jottei pinnoitusaine kuivu tai jäädy putkistoon.

Pinnoitusasemalla tehdään myös annosteltava pinnoitusaine kuiva-aineesta ja vedestä. Pinnoitusasemassa on kaksi identtistä suursäkin purkuasemaa, varastosäiliötä ja pumppausosaa, jotka pysyvät toimimaan itsenäisesti toisistaan riippumatta. Suursäkin purkuasema on siis kahdennettu.

Järjestelmä seuraa säiliössä olevan seoksen määrää painon perusteella, vaa'an mittaustietoa käyttämällä. Tehdashenkilökunnan saadessa tiedon tyhjenemässä olevasta säiliöstä, voidaan tyhjenevä säiliö panostaa uudelleen. Panostustapahtuma ei käynnisty automaattisesti, vaan käyttäjä käynnistää sen.

Panostustapahtuma alkaa suursäkin purulla purkuasemaan. Suursäkki nostetaan trukilla nostoven kautta purkuaseman päälle. Purkuaseman yläosassa oleva säkinrikkoja puhkaisee suursäkin pohjan, jolloin jauhe valuu suppilon kautta taajuusmuuttajaohjatuille ruuvikuljettimelle, joka siirtää jauheen sekoitussäiliöön. Liettoprosessi alkaa veden annostelulla sekoitussäiliöihin, joihin vesi syötetään pesusuuttimen kautta, eli samalla saadaan puhdistettua säiliön seinämiä. Täytettävän sekoitussäiliön vaaka mittaa annostellun veden määrän. Samaan aikaan veden annostelun kanssa käynnistyy täytettävän sekoitussäiliön lapasekoitin, joka on taajuusmuuttajaohjattu, ja pysähtyy vasta sekoitussäiliön tyhjentyessä. Veden annostelun jälkeen käynnistyy panostettavan sekoitussäiliön ruuvikuljetin. Jauhe puretaan venttiilien ja ruuvikuljettimen avulla sekoitussäiliöön. Sekoitussäiliöön annostellaan kerralla koko suursäkin sisältö.

Automaation näkökulmasta tarkastettuna pinnoitusaseman pääkomponentit ovat:

- Siemens S7-1500 PLC oheislaitteineen ja erilaiset I/O-kortit
- paineilmaventtiilit tilatietoineen (on/off)
- taajuusmuuttajat
- moottorit (sekoittimet ja ruuvikuljettimet)
- pumput (annostelu)
- painekeytkimet
- vaa'at ja vaakapäätteet.

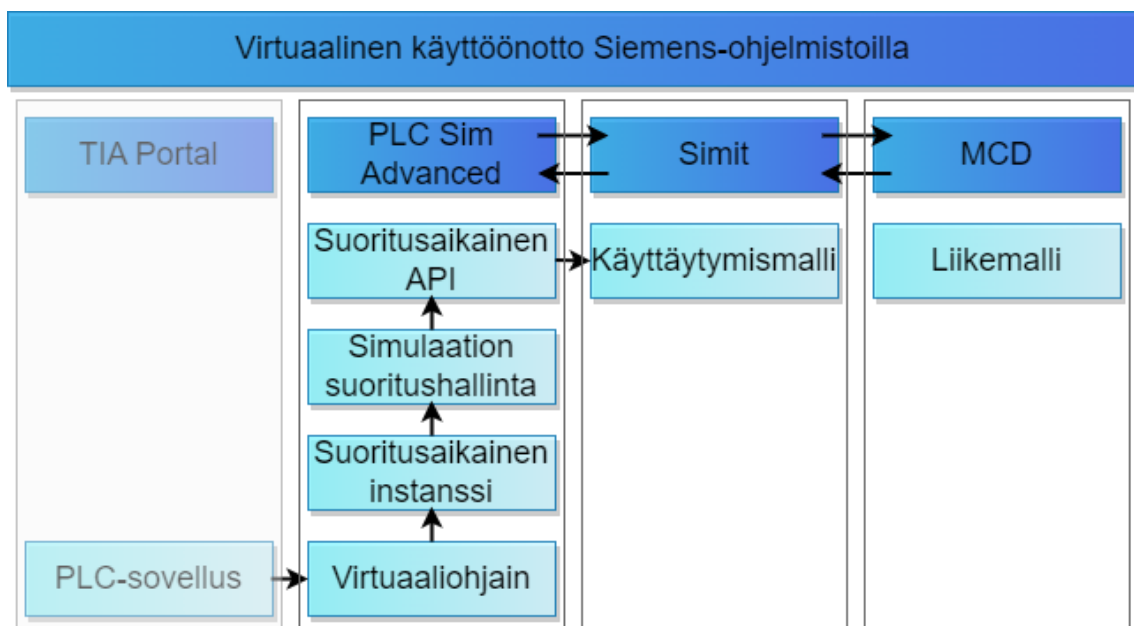
3.1 Virtuaalisen käyttöönoton simulointiympäristön rakentaminen

Tässä opinnäytetyössä virtuaalinen käyttöönotto kuonapatojen pinnoitusasemaan tehtiin tietoperustassa esitetyllä SiL-tekniikalla, eli sekä PLC, että prosessi ovat simuloituja. Valinta oli ilmeinen jo sen takia, ettei fyysistä PLC:tä oheislaitteineen ollut vielä tätä työtä tehtäessä hankittu, mikä rajasi HiLin käyttömahdollisuuden pois.

Virtuaalinen käyttöönotto tehtiin Siemensin työkaluilla. Tässä opinnäytetyössä virtuaaliseen käyttöönottoon käytetyt Siemens-ohjelmistot ovat seuraavat:

- PLC-SIM Advanced V5.0 update 1 (PLC-simulointi)
- Simit V11.1 (Prosessisimulointi)
- NX 1980 + MCD laajennus (Mekaniikkasimulointi)
- SMG Simulation model generator V3 (Tietojen tuonti TIA Portalista Simitiin)
- TIA Portal V17 (PLC- ja HMI-ohjelmointi).

Siemens-ohjelmistojen ja niiden vuorovaikutus toisiinsa on esitetty kuvassa 18.



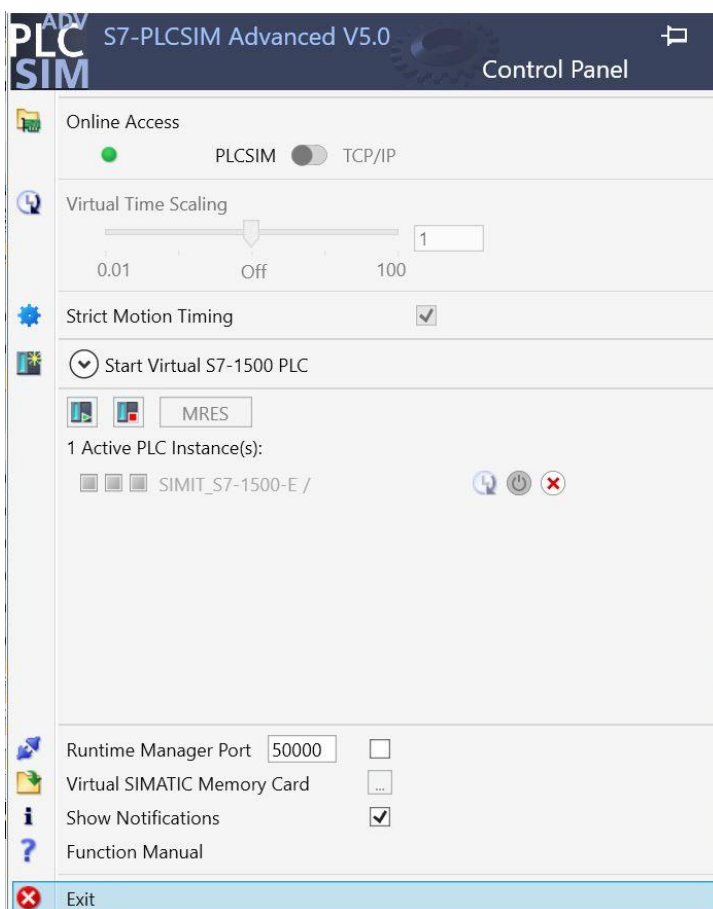
KUVA 18. Siemens-ohjelmistot virtuaaliseen käyttöönottoon. (Siemens AGM 2024.)

PLC-ohjelmointi on tehty jo aikaisemmin, ennen tätä opinnäytetyötä Outokumpu Oy:n toimeksiantona ja sitä käytettiin hyödyksi opinnäytetyössä suoritettussa virtuaalisessa käyttöönotossa. PLC-

ohjelmaa ei ollut testattu todellisessa ympäristössä, eli sille ei ollut tehty oikeaa käyttöönottoa ennen tätä työtä. PLC-koodia ei siis tuotettu tässä virtuaalisessa käyttöönotossa, mutta siihen tehtiin muutoksia, kuten oikeassakin käyttöönotossa. Virtuaalinen käyttöönotto ei periaatteessa vaadi TIA Portalia, mutta TIA Portal tarvitaan PLC-koodin lataamiseen PLC-SIM -ohjelmistoon ja pienienkin sovellusohjelman muutoksien tekemiseen. Käytännössä TIA Portal on myös oltava käytettävissä.

3.1.1 PLC-SIM Advanced ja TIA Portal

PLC:n simulointi toteutetaan PLC-SIM Advanced -ohjelmistolla. Käytettäessä SiL-tekniikkaa, on PLC-SIM Advanced keskeisessä roolissa, koska PLC on simuloitu. Projektissa olevan S7-1500 PLC:n simulointi ei toimi Simitissä tavallisen PLC-SIM:in kanssa, vaan vaatii advanced version. Käyttäjälle tämä ei aiheuta ylimääräisiä toimia, mutta vaatii advanced lisenssin. Jos TIA Portal -sovellusohjelma on täysin valmis, ei PLC:n simulointi aiheuta ylimääräistä työtä tässä kohtaa. Käytännössä virtuaalisen käyttöönoton aikana kuitenkin löytyy aina virheitä sovellusohjelmasta, jolloin parannuksia ja muutoksia tehdään. PLC-SIM Advancedin käyttöliittymä on kuvan 19 mukainen.



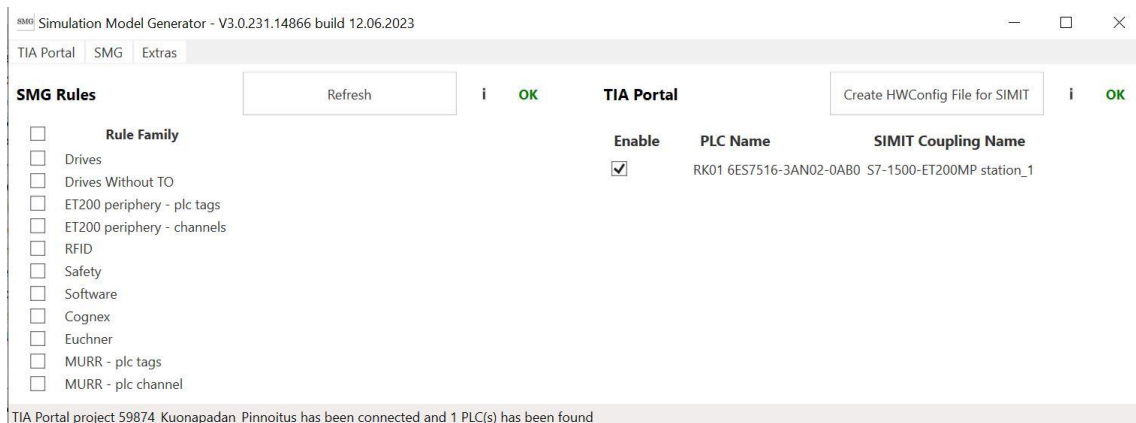
KUVA 19. PLC-SIM Advancedin käyttöliittymä, jossa Simit on aktiivisena instanssina.

PLC-SIM Advanced toimii virtuaalisessa käyttöönotossa taustalla, eikä sen käyttäminen vaatinut erillisiä käyttäjän toimenpiteitä. Jos tekee TIA Portalissa muutoksia PLC-koodiin virtuaalisessa käyttöönotossa, on tärkeää muistaa ladata muuttunut sovellusohjelma PLC-simin advancediin niiden aktivoimiseksi.

3.1.2 Simit-prosessisimulaatio

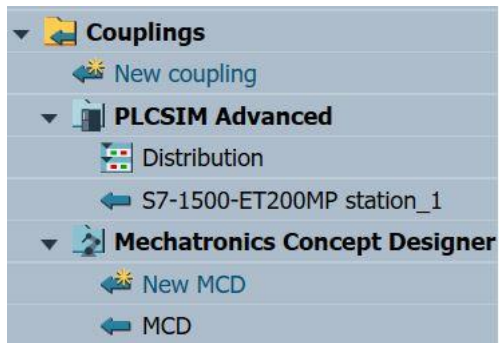
Simitissä rakennetaan prosessisimulaatio ja lisäksi se toimii samalla alustana, mikä yhdistää automaatiotilausimulaation, prosessisimulaation ja mekaniikkasimulaation toisiinsa kytkentöjen (coupling) avulla sekä hoitaa simulaatioiden synkronoinnin. Monet Simitiin rakennettavista toiminnoista eivät ole pakollisia simulaation kannalta, vaan ne ovat visualisointia käyttäjiä varten. Hyvin toteutetut visualisoinnit auttavat ymmärtämään laitteen tai prosessin käyttäytymistä erilaisissa tilanteissa.

Simitiin kannattaa tuoda automaatioprojektin, eli TIA Portalin tiedot erillisellä SMG (Signal model Generator) V3 työkalulla, mikä on esitetty kuvassa 20. Käytännössä tämä tarkoittaa PLC:n ja I/O-korttien tyyppejä ja samalla PLC-tageja, eli fyysisen I/O:n määrittelyjä. SMG myös generoi automaattisesti kaavioita helpottamaan ja vähentämään käyttäjän työmäärää Simitissä. SGM luo myös kytkennän PLC-SIM Advancediin automaattisesti.



KUVA 20. Hardware-kokoonpanon tuominen TIA Portalista SMG-työkalulla.

Tässä virtuaalisessa käyttöönotossa tarvittiin Simitissä kytkennät PLC-SIM Advancediin ja MCD:hen. Kytkennät hoitavat I/O-signaalien ja muun tiedon vaihdon simulaatioiden kesken. Kytkentöjen tekeminen onkin yksi ensimmäisistä toimenpiteistä, minkä jälkeen ne ilmestyvät käyttöliittymään kuvan 21 mukaisesti. Kytkentöjä voidaan kytkeä päälle tai pois tilanteen mukaan, jos ei esimerkiksi haluta simulaation mukaan mekaniikan osuutta.



KUVA 21. PLC-SIM Advanced- ja MCD-kytkennät valmiina.

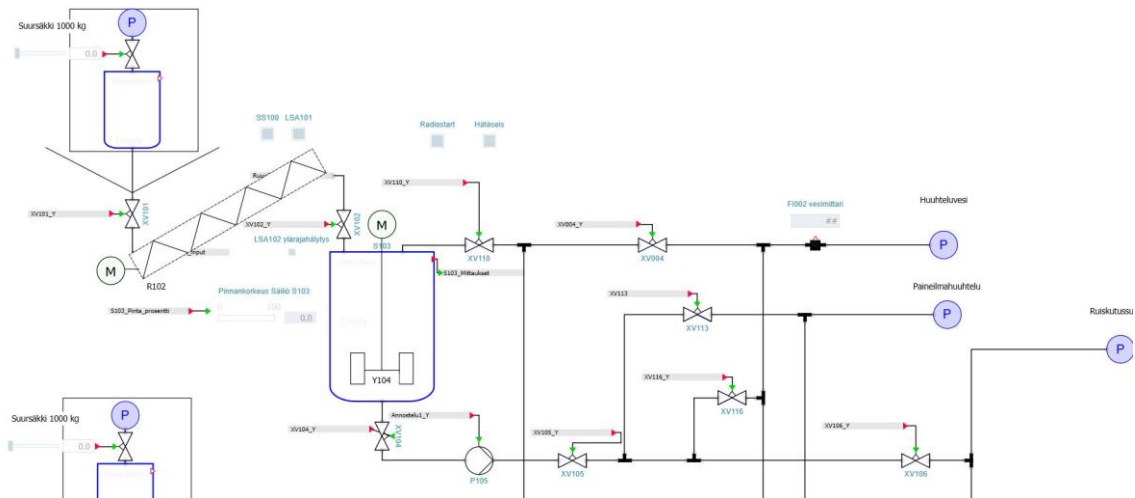
Simitissä on varsinaisia projektikohtaisia asetuksia kohtalaisen vähän. Yksi oleellinen on kuitenkin operating mode, jossa määritetään, miten virtuaaliaika toimii yhdessä muiden simulaatioiden kanssa. Tässä virtuaalisessa käyttöönotossa valittiin asynkroninen toimintatila (operating mode), mikä on tyypillinen prosessin simuloinnissa, joka ei ole niin aikakriittinen verrattuna esimerkiksi liikkeenohjauksen simulointiin. Asynkronisessa toimintatilassa eri simulaatioiden (PLC, prosessi ja mekaniikka) virtuaaliaikaa ei synkronoida keskenään. Jos jokin simulaatio ei ehdi mukaan, ei sitä jäädä odottamaan kuten synkronisessa toimintatilassa. Asynkronisessa toimintatilassa simulaatio ei siis keskeydy mahdollisen prosessointitehon loppuessa, mutta virtuaaliajan virheellisyys saattaa aiheuttaa poikkeamia, kuten väärää tapahtumajärjestyksinä simulaatiossa. (Siemens AG Digital industries 2024.) Tähän simulaatioon valittiin siis asynkroninen toimintatila kuvan 22 mukaisesti.

Toinen asetus, johon täytyy kiinnittää huomiota, on time slice. Jokainen Simitin rakennuspalikka kuuluu johonkin time sliceen, jonka käyttäjä voi itse määrittää. Eri time sliceille voidaan määrittää eri kierrosajat. Tämä mahdollistaa isommissa tai muuten paljon suorittintehoa vaativissa simuloinneissa eri tapahtumien jaottelun niiden kiireellisyyden mukaan. Vähemmän aikakriittisiä tai tärkeitä toimintoja voidaan ajaa isommalla kierrosajalla, jolloin ne vähentävät suorittimen kuormaa. Vastavasti aikakriittisiä toimintoja ajetaan pienellä kierrosajalla. (Siemens AG Digital industries 2024.) Tässä virtuaalisessa käyttöönotossa ei suorittinteho ollut ongelma, johtuen hyvästä tietokoneesta ja kohtalaisen kevyestä prosessista, joten kaikkia toimintoja ajettiin samalla 10ms kierrosajalla. Myös tämä on esitetty kuvassa 22. Näiden vaiheiden jälkeen varsinainen rakentaminen voitiin aloittaa.

Kuonapadan_pinnoitus_2308		
General	Property	Value
Times & operating modes	Time slice 1 [ms]	50
Backtracking	Time slice 2 [ms]	10
Engineering	Time slice 3 [ms]	150
	Time slice 4 [ms]	200
	Time slice 5 [ms]	250
	Time slice 6 [ms]	300
	Time slice 7 [ms]	350
	Time slice 8 [ms]	400
	Operating mode	Asynchronous
	Multi step count	Synchronous
		Asynchronous
		Isochronous

KUVA 22. Simitin operating modeksi valittiin asynkroninen

Prosessisimulaatiossa rakennetaan tyypillisesti kuvan 23 mukainen, PI-kaavio (chart) kaltainen esitys, mikä tehtiin tässäkin virtuaalisessa käyttöönotossa. Helpointa ja selvintä on mukaila projektin prosessi- tai laitesuunnittelusta saatua PI-kaaviota. Tämän tyylinen esitystapa on yleensä helppo ymmärtää kaikille suunnitteluprojektin parissa työskenteleville.

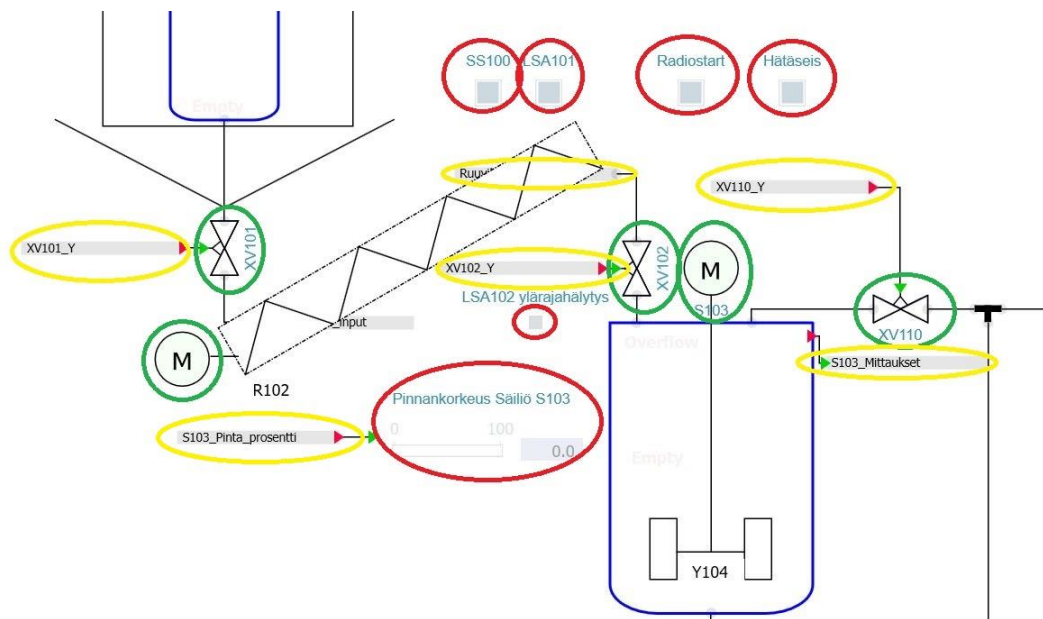


KUVA 23. PI-kaavio rakennettuna Simitiin.

Rakentaminen tehdään graafisesti yleensä valmiita objekteja hyödyntäen, joille määritellään taupauskohtaisesti ominaisuudet. Simitissä objektit on jaettu kolmeen pääryhmään:

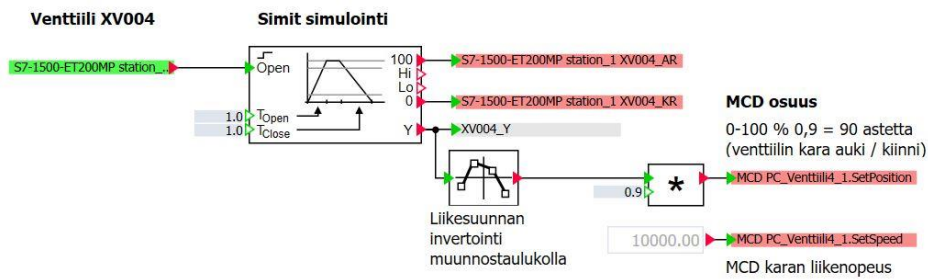
- Komponentit (components) ovat rakennuspalikoita, joilla kaavio ja sitä kautta prosessisimulaatio rakennetaan. Näitä ovat esimerkiksi venttiilit, moottorit, taajuusmuuttajat, pumput, säiliöt, kuljettimet, putkiskot ja erilaiset mahdollisesti tarvittavat yksikkömuunnokset. Komponentit on merkitty kuvaan 24 vihreällä.

- Ohjaukset (controls) ovat erilaisia digitaalisia ja analogisia viestejä, joilla simulaatiota voidaan ohjata. Näistä on hyötyä varsinkin rakennus- ja testausvaiheessa, jos PLC-simulaatiota ei ole vielä mukana. Ohjauksia käytetään myös, jos prosessisimulaatio tehdään kokonaan ilman PLC-simulaatiota. Ohjaukset on merkitty kuvaan 24 punaisella.
- Liitännät (connections) tuovat tietoa sisään kaavioon ja siirtävät sitä ulos kaaviosta. Tietoa voidaan viedä Simitin toiseen kaavioon tai kytkentöjen avulla PLC:n tai mekaniikan simulaatioon. Liitännät on merkitty kuvaan 24 keltaisella.



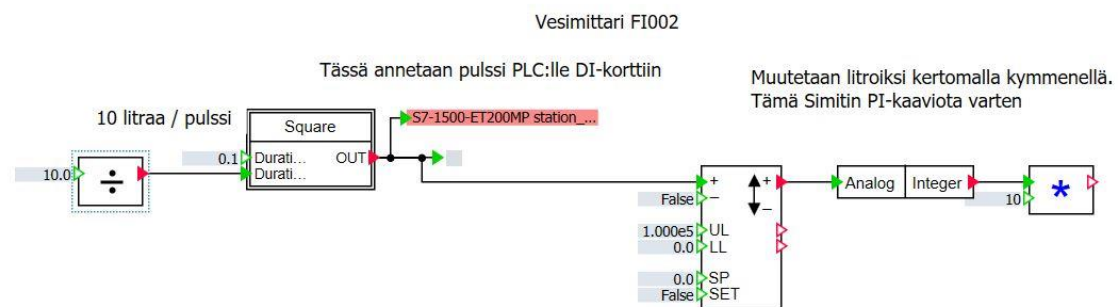
KUVA 24. Simitin eri objektityypit. Punaisella ohjaukset, keltaisella liitännät ja vihreällä komponentit.

Pinnoituslaitteistossa on kohtalaisen paljon simuloitavia venttiilejä. Venttiilin simulointi onnistuu Simitin flownet-kirjastosta löytyvällä venttiili (valve) komponentilla. Venttiilikomponenttiin määritellään venttiilin I/O-liitännät, eli ohjaus ja molemmat rajatiedot. Lisäksi määritellään venttiilin avautumis- ja sulkeutumisaika sekunteina. Samassa kaaviossa tehdään myös venttiilin ohjaus MCD-mekaniikkasimulaatioon. MCD:lle annetaan venttiilin asema sekä liikenopeus. Valmis venttiilin simulointi on esitettyä kuvassa 25.



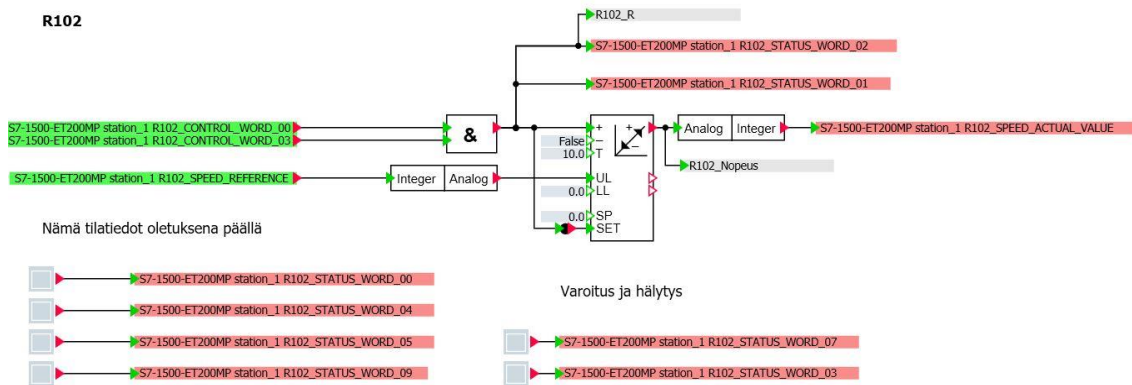
KUVA 25. Venttiilin simulointi. PLC:n ohjausviesti vihreällä ja kiinni- ja auki-tieto punaisella. Oikealla MCD-mekaniikkasimulaation ohjaukset.

Pinnoituslaitteiston vedenkulutusta seurataan vesimittarilla, joka antaa pulssin PLC:n DI-korttiin 10 litran välein. Vesimittarin simulointia varten pitää suorittaa muunnoksia, koska oletuksena Simitistä saadaan putkessa virtaavan veden absoluuttinen virtaama. Veden kulutusseuranta varten tarvitaan kumulatiivinen virtausmäärän laskenta. Simitin käyttöliittymää varten sama pulssi puolestaan muunnetaan laskurin jälkeen int-tyyppiseksi ja kerrotaan kymmenellä, mistä saadaan litrat kumulatiivisena Simitin käyttöliittymään. Muunnokset on esitetty kuvassa 26.



KUVA 26. Veden virtausmittauksen muunnokset Simitissä.

Simitistä löytyy valmiiksi laaja kirjasto komponentteja. Tässä projektissa taajuusmuuttajat ovat ABB:n valmistamia ja PLC ohjaa niitä profinet-väylän kautta. Simitin kirjastossa ei ole valmiina tukea ABB:n taajuusmuuttajien käyttämälle profinet-profiilille, jonka takia piti siis tehdä uusi, kuvan 27 mukainen kommunikointilohko Simitiin, jotta viestintä Simitin ja TIA-portalin välillä toimii. Siemensin omat Sinamics-taajuusmuuttajat toimivat suoraan, eikä tätä vaihetta tarvitse tehdä. Tässä tapauksessa, kun lohko on nyt ABB:n taajuusmuuttajalle tehty, voidaan sitä hyödyntää jatkossa tulevissa projekteissa.



KUVA 27. ABB-taajuusmuuttajan profinet-profiili rakennettuna Simitiin.

Simitin visualisoinneista ruuvikuljettimet ja lapasekoittimet rakennettiin itse, koska sopivia valmiita komponentteja ei ollut tarjolla. Ruuvikuljetin ja lapasekoitin ovat molemmat taajuusmuuttajaohjattuja. Visualisointien liikenopeus tehtiin siniaaltoa hyödyntämällä, jossa taajuusmuuttajan nopeus on siniaallon amplitudi kuvan 28 mukaisesti.



KUVA 28. Visualisoinnissa hyödynnetään siniaaltoja. Jakson aika on tässä 5 sekuntia ja amplitudin määrää taajuusmuuttajan nopeus. Jos nopeus on nolla, ei liikettä ole.

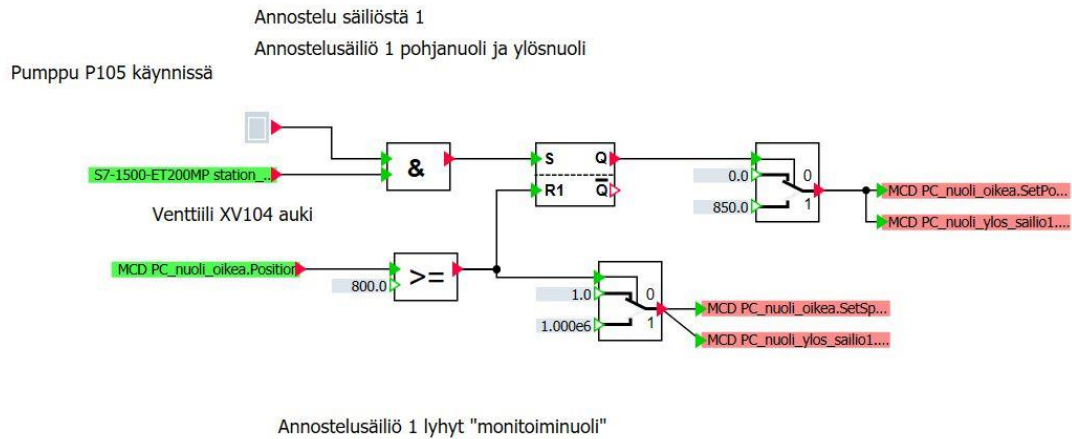
Kun visualisoinnin toiminnallisuus on tehty, pitää se vielä liittää liikutettavaan komponenttiin, mikä kuvan 29 tapauksessa on lapasekoitin.

Group	Property	Value	Diagnos
Appearance	Signal	Mixer1_vis	Y
Layout	Start value		0.0
Animations	End value		100.0
New animation	Scaling	X: 11.11111111 Y: 100.0	
Rectangle	Distance (relative)	X: 44.44444444 Y: 0.0	

KUVA 29. Lapasekoittimen visualisointi.

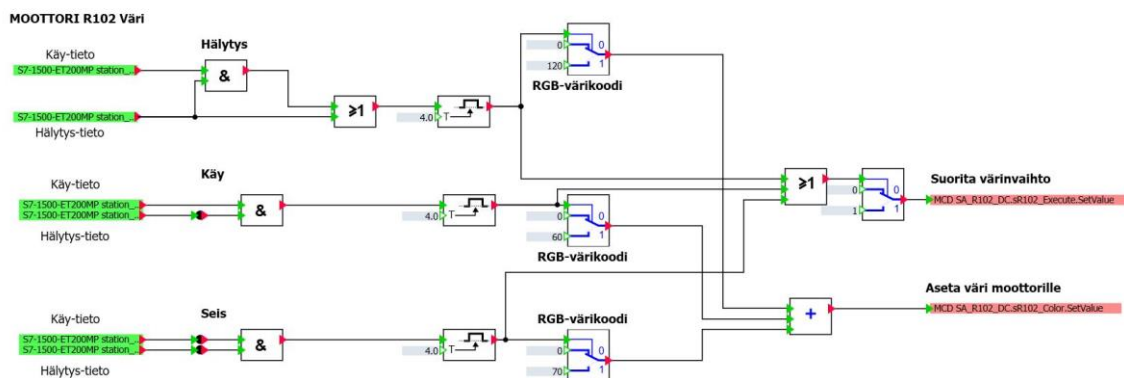
Monimutkaisemmat toiminnot, kuten toimintojen ja liikkeen ajaminen MCD-mekaniikkasimulaatiossa rakennetaan Simitissä hieman FBD-tyylisiä komponentteja käyttämällä. Simitissä rakennettiin ehdot, milloin mekaniikkasimulaatiossa suoritetaan eri toimintoja.

Kuvassa 30 ajetaan MCD-mekaniikkasimulaation visualisointia, eli tässä tapauksessa virtausnuolta ehtojen mukaisesti. Nuoli lähtee liikkeelle, kun venttiili XV104 on auki ja pumppu P105 käy, eli putkessa on virtausta. Toisessa osiossa määritellään kuinka pitkälle ja millä nopeudella nuoli liikkuu. Kun nuoli saavuttaa päämääränsä, käynnistyy tapahtuma uudelleen, ja nuoli lähtee jälleen liikkeelle aloituspisteestä. Tällä saadaan aikaan jatkuva liike. Kaikki virtausnuolet tehtiin samaa periaatetta käyttäen.



KUVA 30. Virtausta esittävän nuolen ohjaus MCD-mekaniikkasimulaation. Komponenteissa on paljon tuttua tietoperustassa esitetyn FBD-ohjelmoinnin kanssa.

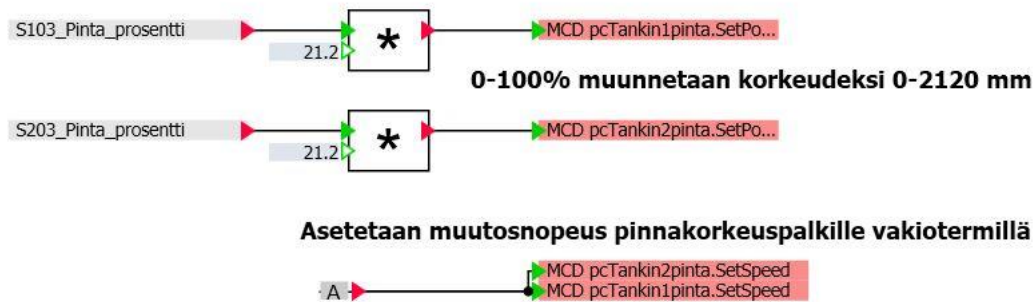
MCD-mekaniikkasimulaatiossa moottori vaihtaa väriä PLC:llä olevan moottorin tilatiedon mukaan. Jos moottori on seis-tilassa, on se harmaa. Käy-tilassa moottori on vihreä. Hälytys-tilassa moottori on punainen. Toiminto suoritettiin tietoperustassa esitetyn FBD-ohjelmointikielen mukaisilla portti-piireillä kuvan 31 mukaisesti. Värin asettamiseen tarvitaan kaksi komentoa. Toinen asettaa värin ja toinen toteuttaa muutoksen.



KUVA 31. Moottorin värinvaihdon ohjaus MCD-mekaniikkasimulaation.

MCD-mekaniikkasimulaatiossa kuvataan säiliöiden pinnankorkeutta niiden sivuun luodulla palkilla. Palkkia ohjataan Simitistä saatavan täyttöasteen mukaan. Simit antaa täyttöasteen 0–100 % tietona ja se pitää muuttaa visualisointia varten 0–2120 mm muotoon, missä 2120 mm on säiliön todellinen 3D-mallissa käytettävä korkeus. Muunnos esitetään kuvassa 32.

Säiliöiden pinnankorkeuksien visualisointi palkilla

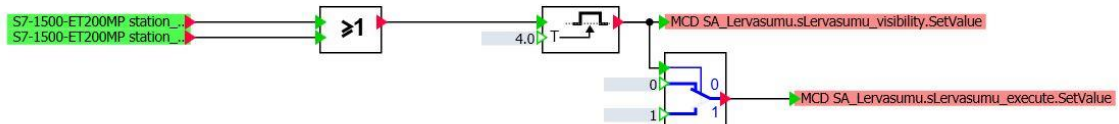


KUVA 32. Pinnankorkeuden asettelu MCD-mekaniikkasimulaation.

Pinnoitusaineen annostelutapahtumaa visualisoidaan MCD-mekaniikkasimulaatiossa sumulla, mikä tulee pinnoitusaineen levitessä annostelusuuttimesta. Simitillä ohjataan sumu näkyviin, jos annostelutapahtuma on käynnissä. Muussa tapauksessa sumu on piilotettu näkyvistä. Kuva 33 esittää sumun ohjauksen.

Pinnoitusaineen annostelutapahtuman visualisointi

Venttiili XV106 tai XV206 auki, eli annostelu käy. Jos annostelu käy, sumu näkyy (1). Muussa tapauksessa sumu on piilotettu (0).



KUVA 33. Annostelutapahtumassa leviävän sumun visualisoinnin ohjaus.

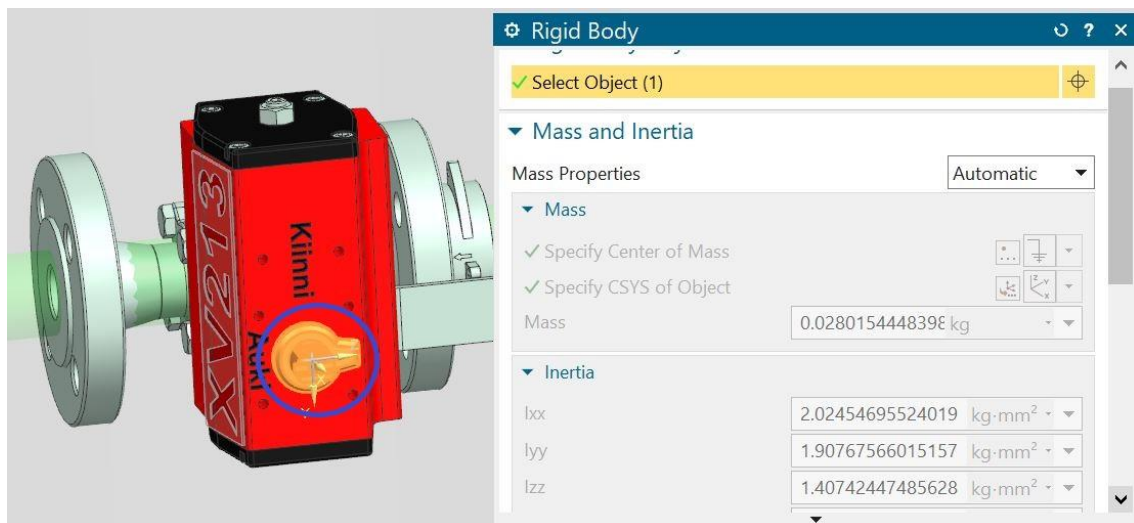
3.1.3 MCD-mekaniikkasimulaatio

Kuonapadanpinnoituslaitteistosta tehtiin mekaniikan 3D-malli alkuperäisen suunnittelun yhteydessä ja tässä opinnäytetyössä sitä hyödynnettiin virtuaalisessa käyttöönoton mekaniikkasimulaatiossa. Alkuperäisen suunnittelun yhteydessä luotu 3D-malli on tehty Autodesk Inventor -ohjelmistolla. Autodesk Inventorilla luotu 3D-malli ei ole NX-yhteensopiva natiivissa tiedostomuodossaan, vaan se pitää tallentaa tietoperustassa esitellyssä STEP-muodossa (Standard for the Product Data Exchange), jolloin 3D-malli toimii myös NX:ssä.

MCD (Mechatronics Concept Designer) on Siemensin ohjelmistotyökalu laajennus NX:lle, joka on suunniteltu tukemaan koneenrakennuksen ja mekatronisten järjestelmien suunnittelua. MCD sisältää kinematiikan, joka mahdollistaa kappaleiden käyttäytymisen samanlailla, kuin oikeassa elämässä. Tämä antaa mahdollisuuden tarkistella, miten kappaleet käyttäytyvät toisiinsa nähden ja mahdollistaa ongelmien havaitsemisen virtuaalisessa käyttöönotossa.

MCD:llä luodaan 3D-malliin simulaatiossa tarvittava kinematiikka ja muu visualisointi. Se ei siis ole itsenäinen sovellus, vaan vaatii NX:n toimiakseen. Jotta haluttuihin kappaleisiin saadaan kinematiikka tehtyä, asettaa se myös vaatimuksia 3D-mallille. Liikuteltavat kappaleet pitää olla luotuna omina komponentteinaan, eivätkä ne saa olla osa isompaa kokonaisuutta. Jos siis halutaan esimerkiksi venttiilin kara kääntymään, pitää kara olla omana komponenttina erillään muusta venttiilistä. Tähän onkin syytä kiinnittää erityistä huomiota 3D-mallia tehdessä, jos on tiedossa siihen myöhemmin tehtävä virtuaalinen käyttöönotto. MCD:llä ei ole tarkoitus tehdä muokkauksia, vaan luoda toiminnallisuutta.

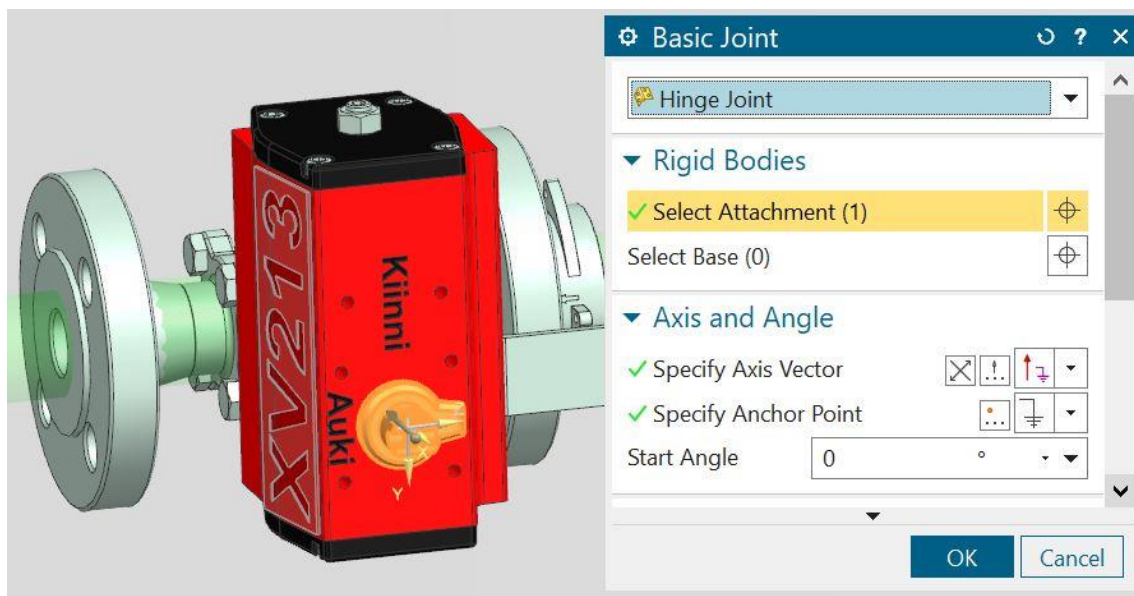
Mekaniikkasimulaation rakentaminen aloitettiin avaamalla jo aiemmin mekaniikkasuunnittelussa tehty kuonapadanpinnoitusaseman 3D-malli NX:ssä ja käynnistämällä tämän jälkeen MCD laajennus. Ensimmäisenä pitää määrittää, mihin kappaleisiin fysiikan lait vaikuttavat, eli mitä kappaleita halutaan liikuttaa. Tämä tehtiin Rigid body -toiminnolla, joka esitetään kuvassa 34. Rigid body tarvitaan aina, kun kappaleita liikutellaan.



KUVA 34. Rigid body määrittää mitä kappaleen mitä halutaan liikuttaa. Tässä esimerkissä se on venttiilin kara.

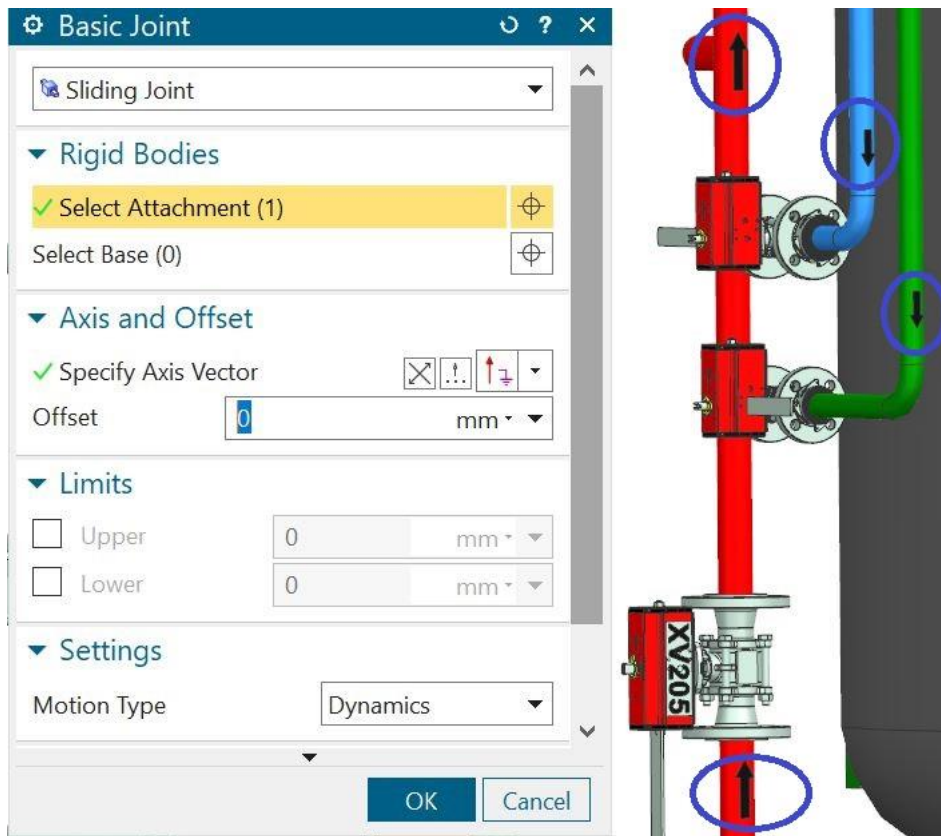
Rigid body yksinään ei vielä saa kappaleita liikkumaan, vaan ne tarvitsevat lisäksi nivelen (joint). Nivel määrittelee esimerkiksi sen, liikkuuko kappale johonkin, vai pyöriikö se akselilla. Erilaisia, erilaisiin kappaleisiin ja tilanteisiin sopivia niveliä on MCD:ssä useita. Tässä opinnäytetyössä hyödynnettiin kahta erilaista niveltä.

Venttiilin avautuessa ja sulkeutuessa sen kara liikkuu. Karan liike toteutettiin sarananivelellä (hinge joint). Sarananivel mahdollistaa liikkeen yhdessä akselissa, mikä mahdollistaa venttiilin karan pyörimisen. Sarananivel luodaan kuvassa 35. Edellisessä vaiheessa tehty rigid body on tässä käytössä.



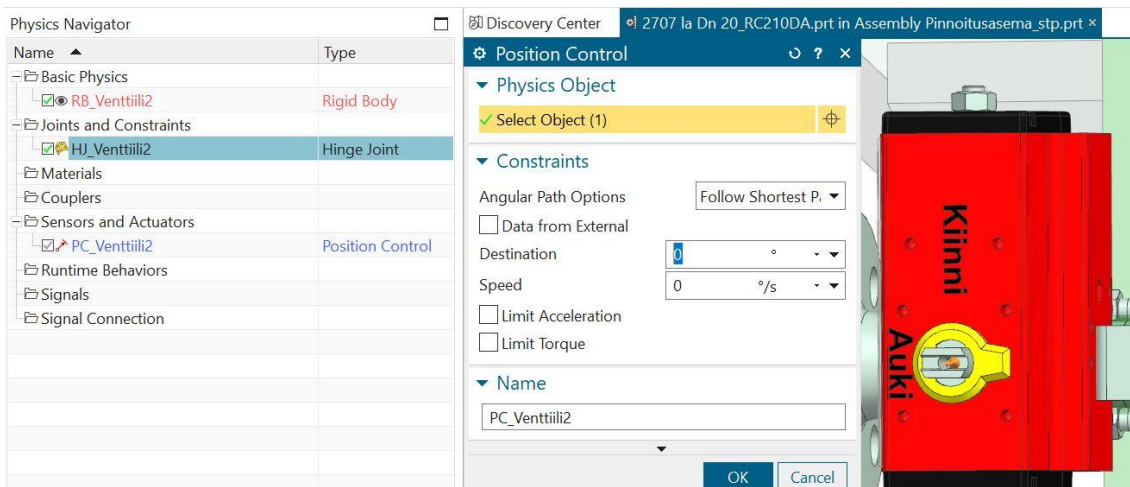
KUVA 35. Venttiilin karalle määritellään sarananivel.

Putkistojen virtauksia kuvataan virtauksen suuntaan liikkuvilla nuolilla. Nuoli liikuu putkiston pinnassa ja tätä liikettä varten tarvitaan liukuva nivel (sliding joint). Liukuvan nivelen luonti virtausnuoleen esitetään kuvassa 36.



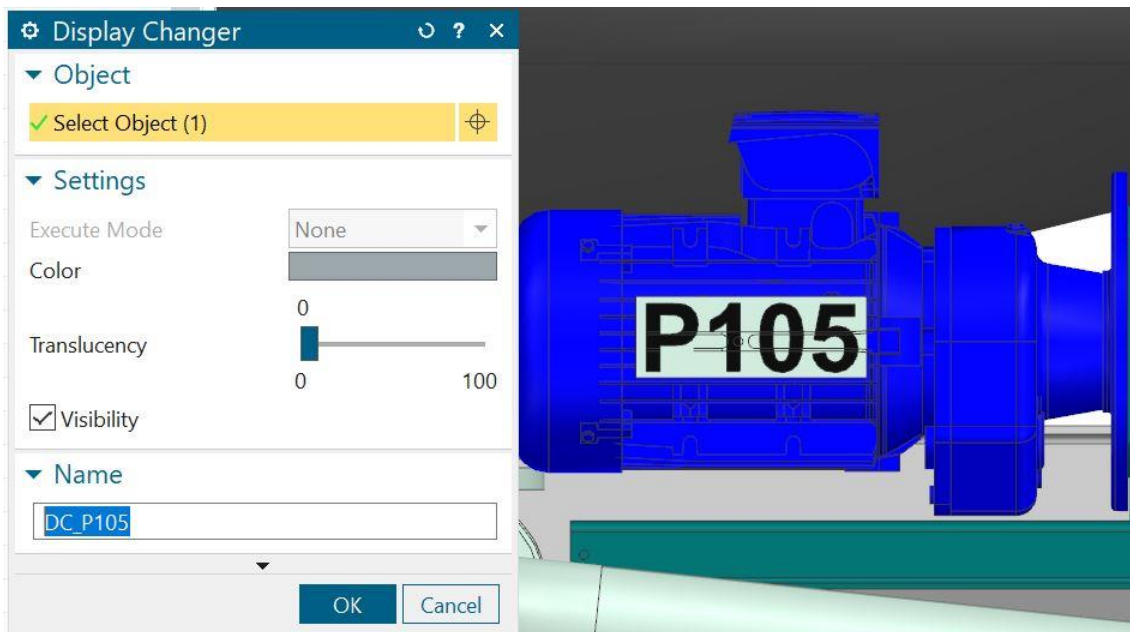
KUVA 36. Virtausnuolien liukuvien nivelten määrittäminen. Virtausnuolille on tehty Rigid bodyt teikaisemman esimerkin mukaisesti.

Pelkästään rigid body ja kappaleeseen tehty nivel eivät vielä saa kappaletta liikkumaan, vaan siihen tarvitaan asemanohjaustyökalu (position control), joka on esitetty esimerkkinä venttiilille kuvassa 37. Kohde (destination)- ja nopeus (speed)-parametrit on jätetty tyhjäksi, koska niihin annetaan arvot Simitistä aikaisemmin esitetyn mukaan. Simitillä siis ohjataan venttiilin liikettä MCD:ssä.



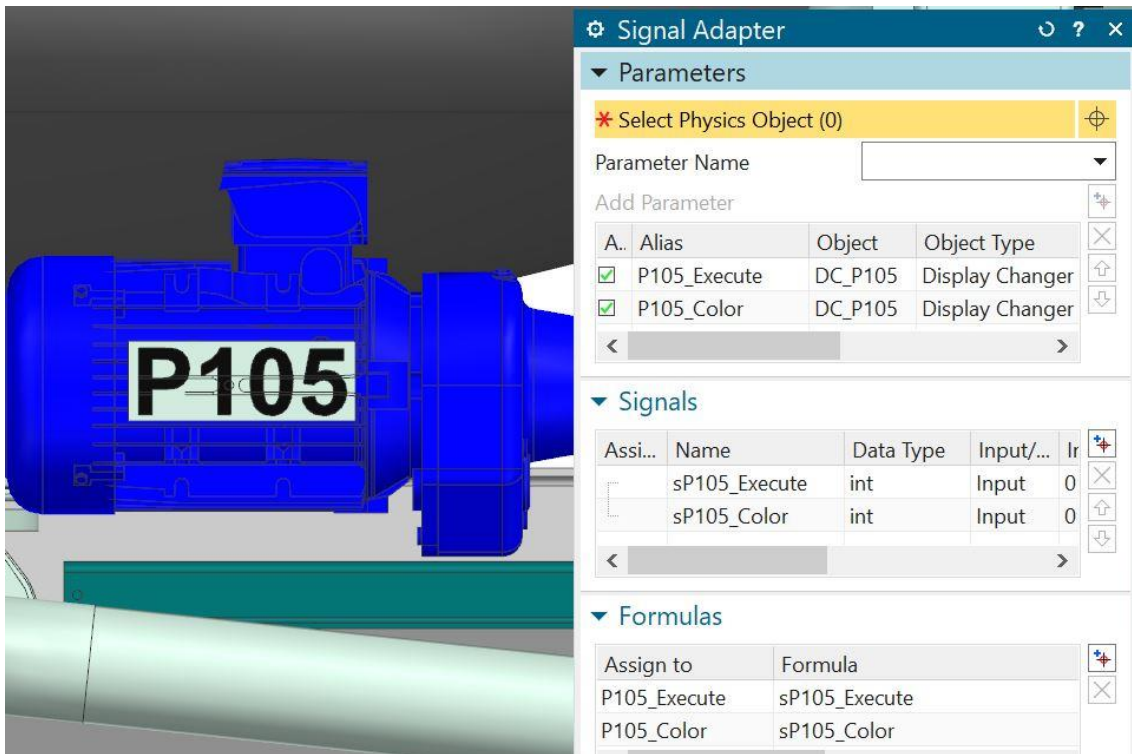
KUVA 37. Asemanohjaustyökalulla tehdään kappaleiden liike.

Moottoreiden väri vaihtuu PLC:n tilatiedon mukaan. Värin vaihto tehtiin näytönvaihtajatyökalulla (display changer). Työkalulla valittiin kappale, minkä väriä halutaan muuttaa kuvan 38 mukaisesti.



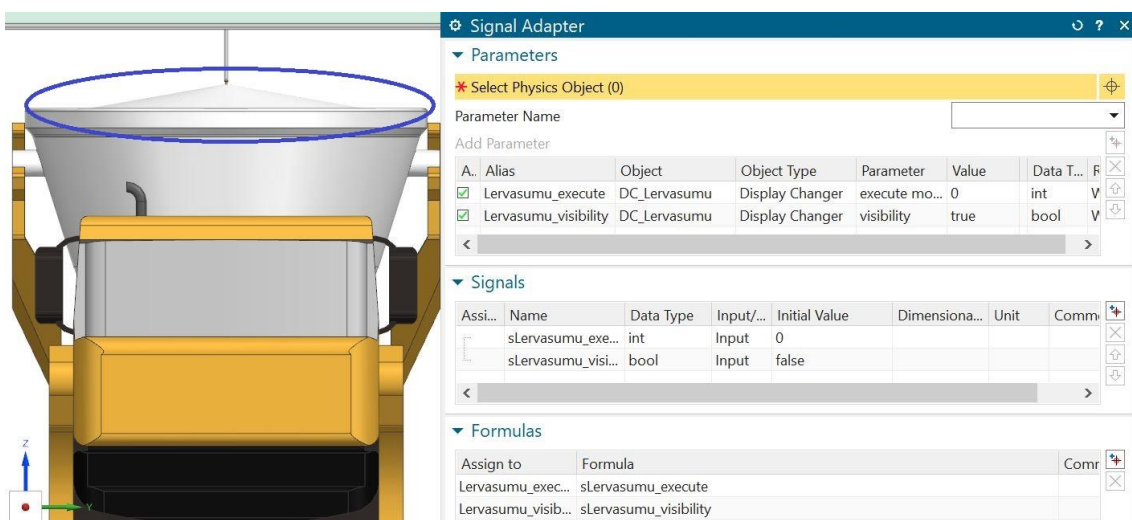
KUVA 38. Moottori valittuna näytönvaihtajatyökalussa.

Näytönvaihtajatyökalua ei voi suoraan ohjata Simitistä, vaan lisäksi tarvitaan signaalinmuunnintyökalu (signal adapter). Signaalinmuunnin muuttaa aikaisemmin esitetyt Simitiltä tulevat ohjeet näytönvaihtajatyökalulle ymmärrettäväksi kuvan 39 mukaisesti.



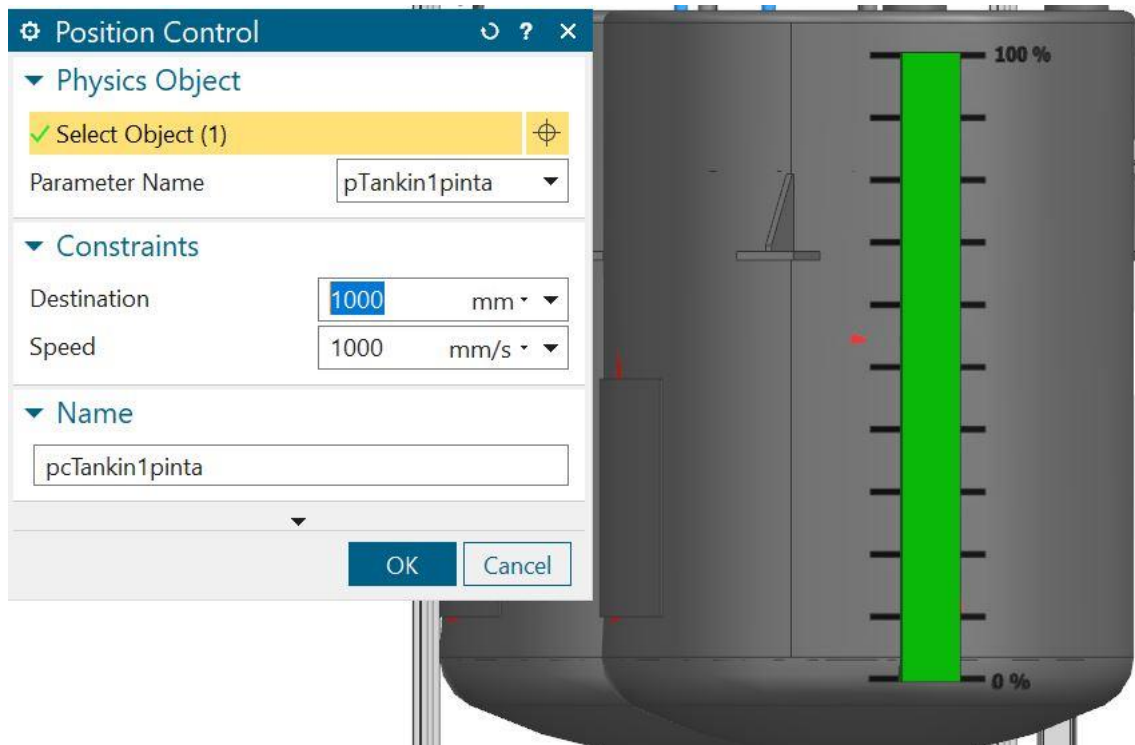
KUVA 39. Signaalinmuunnintyökalu muuttaa Simitin viestin näytönvaihtajatyökalun ymmärtämään muotoon.

Näytönvaihtajatyökalua käytettiin myös pinnoitusaineen annostelutapahtuman visualisoinnissa kuvan 40 mukaisesti. Annostelun tapahtuessa näytetään pinnoitusaineen aiheuttama sumu, mutta muussa tapauksessa sumu on piilotettuna. Myös tässä tapauksessa näytönvaihtajatyökalu tarvitsee toimiakseen signaalinmuunnintyökalun, jotta Simitistä tulevat ohjaukset toimivat.



KUVA 40. Pinnoitusaineen annostelutapahtuman visualisointi.

Säiliöiden pinnankorkeutta kuvataan MCD:ssä 0–100 % palkilla, joka piirretään säiliöiden kylkeen kuvan 42 mukaisesti. Pinnankorkeuspalkki on tehty luomalla ensin suorakaide ja lisäämällä siihen sitten dynamic variable, eli dynaaminen muuttuja. Käytännössä palkin koko vaihtelee pinnankorkeuden mukaan 0–2120 mm välillä, missä 2120 mm on säiliön korkeus ja samalla 100 % pinnankorkeus. Dynaamisen muuttujan lisäksi tarvitaan asemanohjaustyökalu, jota käyttämällä Simit asettaa pinnankorkeustiedon pinnankorkeuspalkkiin.



KUVA 42. Säiliöiden pinnankorkeutta kuvataan kylkeen tehdyllä 0–100 % palkilla.

Kokonaisuudessa MCD:llä luotiin simulaatioon seuraavat toiminnot, joita kaikkia ohjataan Simitillä tässä luvussa esitetyn mukaan:

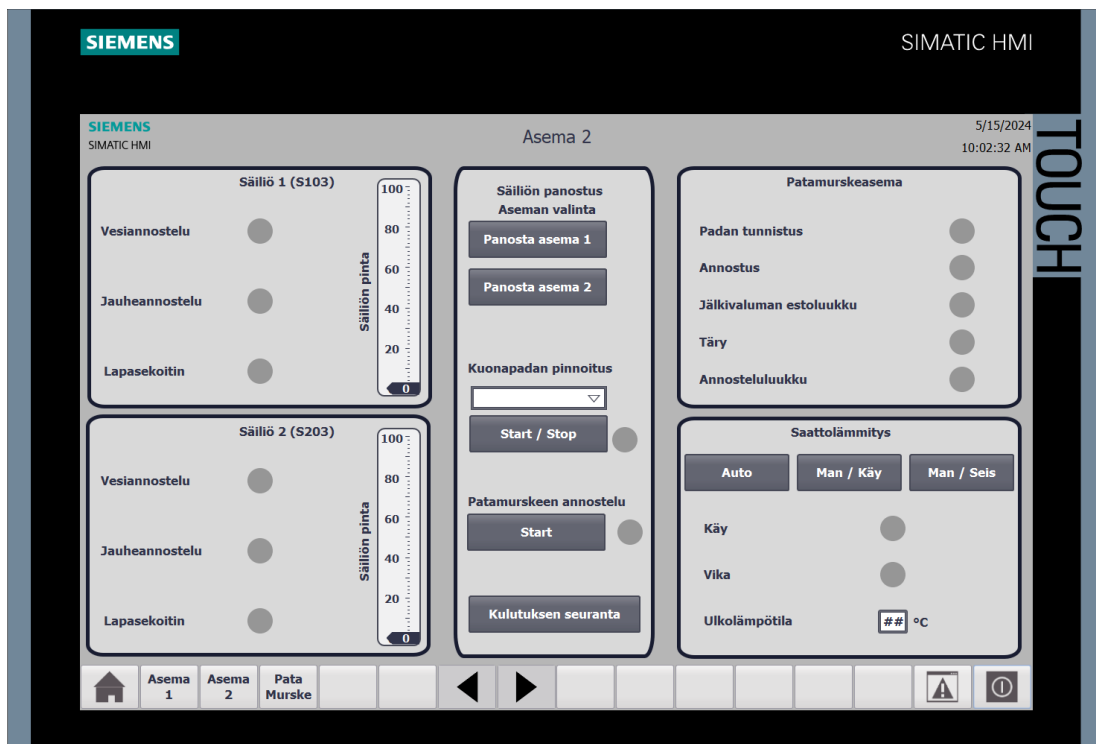
- Venttiileiden visualisointi tehtiin rigid body-, sarananivel- ja asemanohjaustyökaluilla. Venttiili liikkuu PLC:n tilatiedon mukaan.
- Moottoreiden seis-, käy- ja hälytystiedot tehtiin näytönvaihtaja- ja signaalinmuunnintyökaluilla. Moottorin tilat ovat vihreä käy, punainen hälytys ja oletusväri seis. Moottorin väri vaihtuu kulloinkin päällä olevan PLC:n tilatiedon mukaan.
- Animoituja nuolia kuvaamaan virtaussuuntia ja virtausta putkistoihin tehtiin rigid body-, liukuva nivel- ja asemanohjaustyökaluilla.
- Sekoitussäiliöiden kylkeen tehtiin palkki kuvaamaan säiliön pinnankorkeutta. Tämä toteutettiin dynaaminen muuttuja- ja asemanohjaustyökaluilla.

- Kuonapadan pinnoitusaineen ruiskutus suuttimesta visualisoitiin näytönvaihtaja- ja signaalinmuunnintyökaluilla.

3.2 Simulointiympäristön testaus ja virtuaalinen käyttöönnotto

Simulointiympäristön valmistuttua oli vuorossa simulointiympäristön testaaminen ja varsinainen virtuaalinen käyttöönnotto. Simulointiympäristö käynnistetään Simitistä, joka osaa käynnistää ja linkittää itsensä kytkentöjen (coupling) kautta PLC-simulaation (PLC-SIM Advanced) ja mekaniikkasimulaation (MCD). MCD-laajennus pitää olla valmiustilassa simulaatiota varten, mutta PLC-SIM Advancedin Simit pystyy tarvittaessa käynnistämään itse. Myös TIA Portal tulee käynnistää, jos haluaa ajaa simulaatioita PLC:n käyttöliittymästä, kuten tässä virtuaalisessa käyttöönnotossa haluttiin. TIA Portal tarvitaan myös aina, kun PLC-sovelluskoodi pitää ladata PLC-SIM Advancediin.

Kun simulaatio on käynnissä, voidaan testaus aloittaa käynnistämällä eri toimintoja PLC:n käyttöliittymästä, mikä on esitetty kuvassa 43. PLC:n käyttöliittymä löytyy seuraavasta kuvasta. Tämä on siis sama käyttöliittymä, millä PLC:tä käytetään todellisuudessa HMI:n tai PC-tietokoneen kautta. Halutessa voi prosessi- ja mekaniikkasimulaatiota testata myös kokonaan ilman PLC-kytkentää pakottamalla lähtöjä ja toimintoja Simit:istä.



KUVA 43. Kuonapadanpinnoituslaitteiston käyttöliittymä Siemens HMI:ssä.

Simitin testaus jaettiin kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa käytiin läpi kaikki laitteiston normaalit toiminnot. Toisessa vaiheessa ajettiin läpi laitteiston kaikki toiminnot, mutta niihin aiheutettiin poikkeavuuksia eri sensoreilla. Kolmannessa vaiheessa laitteistoon aiheutettiin poikkeuksia simuloimalla erilaisia sensori-, laite- ja prosessivikoja.

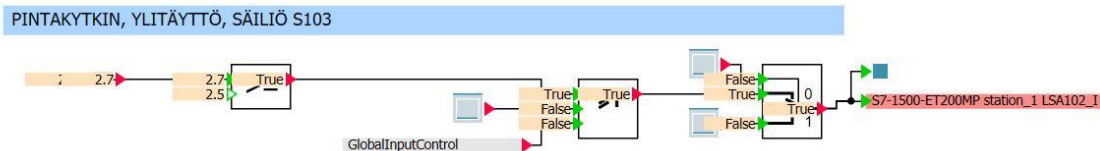
3.2.1 Laitteiston normaalin toiminnallisuuden testaus

Pinnoituslaitteiston annosteluprosessin toimivuus testattiin ajamalla sitä käyttöliittymästä HMI:llä. Lisäksi testattiin molempien varastosäiliöiden panostus ja erilaisia laitteiston automatisoituja huoltotoimintoja. Näitä huoltotoimintoja ovat pinnoitusaineen syöttölinjan huuhtelu vedellä ja pinnoitusaineen annostelupumpun huuhtelu vedellä. Tässä vaiheessa testattiin siis PLC-sovelluskoodin toimivuutta normaaleissa tuotantotilanteissa, kun mitään poikkeavaa ei tapahdu. Simitin kaaviosta erilaisia PLC-sovelluskoodin vikoja on huomattavasti helpompi löytää, kuin pelkästään TIA Portalia käyttämällä. Kokonaisuudesta saa paljon selkeämmän kuvan Simitin PI-kaavio seuraamalla. Testatessa ilmeni PLC-sovelluskoodin olevan hieman viimeistelemätön ja sitä jouduttiin korjailemaan. Ilmeisesti nämä viat ovatkin aikoinaan jääneet huomaamatta pelkästään TIA Portalia käyttämällä ja sen työkaluilla testaamalla.

3.2.2 Poikkeavien tilanteiden simulointi

Nyt kun PLC-sovelluskoodin normaalissa tuotantokäytössä ilmenevät viat oli löydetty ja korjattu, aloin keskittymään Simitin mahdollistamiin simuloituihin vikatilanteisiin. Testasin eri sensoreiden tilan poikkeuttamisen vaikutuksia sekä hätäseis-toimintoa. Simuloimalla erilaisia normaalista poikkeavia tilanteita, voidaan siis testata laitteiston käyttäytymistä muissa, kuin normaaleissa käyttötilanteissa.

Kuvassa 44 esitetään esimerkkinä säiliön ylitäytön simulointi. Säiliö S103 on tullut yli normaalin maksimitilavuutensa ja pintakytkin LSA102 aktivoituu. LSA102 aktivoituminen olisi voitu simuloida Simitissä myös käyttöliittymästä ”käsin” kytkemällä, mutta tässä se tehdään automaattisesti compare-operaattorilla.



KUVA 44. Pintakytkimen aktivoitumisen simulointi. Compare-operaattorin tulo on suurempi kuin vertailuarvo (säiliön normaali yläraja), mikä ohjaa sen lähdön TOSI-tilaani ja puolestaan OR-operaattorin TOSI-tilaan aktivoiden pintakytkimen LSA102.

Pintakytkimen aktivoituminen näkyy TIA Portalin puolella samalla lailla, kuin oikea fyysinen pintakytkin kuvan 45 mukaisesti.

No.	Time	Date	St...	Text	Acknov
4	5:09:3...	2/25/...	I	Säiliö 2 Ylärajahälytys	0
3	5:06:3...	2/25/...	I	Säiliö 1 Ylärajahälytys	0

KUVA 45. Pintakytkimen hälytys pinnoituslaitteiston HMI:ssä

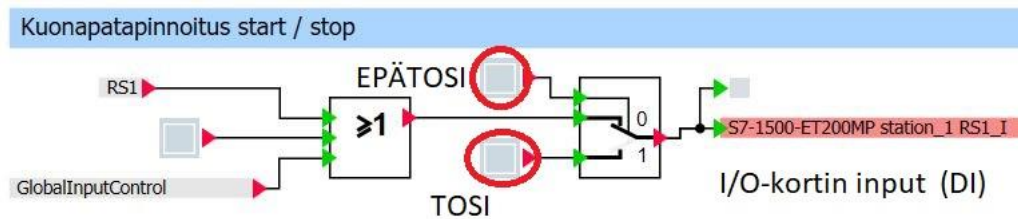
3.2.3 Laitteistovikojen ja prosessihäiriöiden simulointi

Seuraavassa vaiheessa simuloitiin erilaisia laitteistoon liittyviä elektronisia- ja mekaanisia vikoja. Ne ovat siis tyypiltään ennakoimattomia ja erilaisia kuin aikaisemmin testatut normaalista poikkeavat toiminnot. Aluksi simuloitiin erilaisia automaatioon liittyviä vikoja.

Sensorit testattiin luomalla Simitillä seuraavat vikatilanteet:

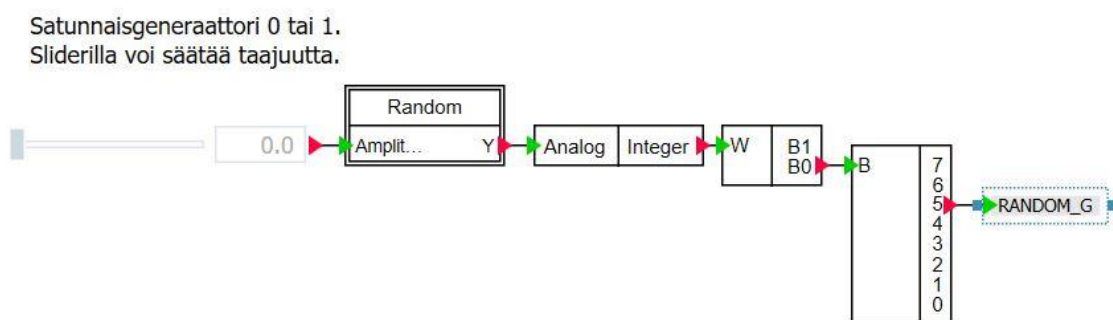
- oikosulku, jossa pakotettiin PLC:n tuloon aina TOSI-tila
- johdinkatko, jossa pakotettiin PLC:n tuloon aina EPÄTOSI-tila
- johdinvika (huono kontakti), jossa pakotettiin PLC:n tuloon aina TOSI- tai EPÄ-TOSI-tila satunnaisesti.

Sensoreita tässä laitteistossa ovat pintakytkimet (LSA102, LSA202), pyörintävahdit (SS100, SS200) ja ruuhkavahdit (LSA101, LSA102). Kuvassa 46 on esitetty, miten DI-kortin tulo voidaan pakottaa TOSI- tai EPÄTOSI-tilaan.



KUVA 46. PLC:n DI-tulokorttiin liitetyn releen simulointia.

Johdinvian simulointia varten tehtiin satunnaisgeneraattori vaihtamaan TOSI- ja EPÄTOSI-tilaa ja se on esitetty kuvassa 47. Pohjana käytettiin analogialukujen generaattoria, mistä tehtiin tarvittavat muunnokset binääriseksi.

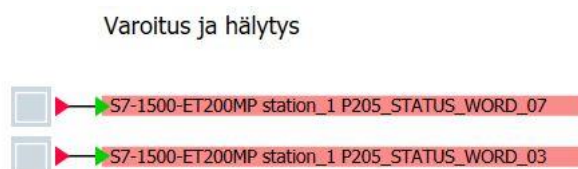


KUVA 47. Binäärinen satunnaislukugeneraattori.

Taajuusmuuttaja ohjattuja moottoreita testattiin luomalla seuraavat häiriöt Profinet-väylään:

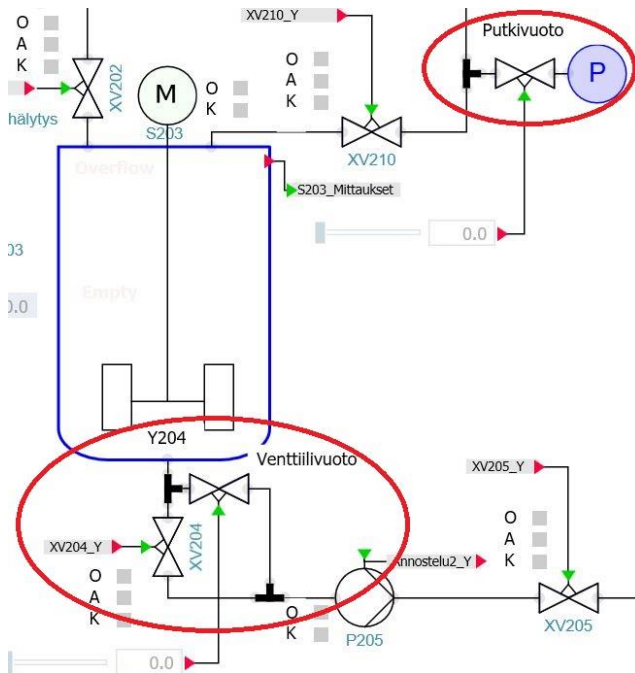
- pakotettiin Profinet-tuloon "Warning" aina TOSI-tila
- pakotettiin Profinet-tuloon "Fault" aina TOSI-tila.

Taajuusmuuttaja ohjattuja moottoreita tässä laitteistossa ovat ruuvikuljettimet (R102, R202), lapsenkoittimet (Y104, Y204) ja annostelupumput (P105, P205). Kuvan 48 esimerkissä pumpun P205 varoitus- ja vikabitit esitettynä SIMITissä.



KUVA 48. Taajuusmuuttajien profinet-tulojen varoitus- ja vikabittejä simuloitiin pakottamalla ne TOSI-tilaan.

Seuraavaksi tuotettiin prosessikohtaisia häiriöitä. Niitä on suunniteltava ja luotava itse simuloitavan prosessin tai laitteen mukaisesti räätälöitynä. Tässä työssä simuloitiin vuotavia putkia ja venttiileitä, koska kentälaitteisto koostuu pääosin niistä. Tämä tehtiin lisäämällä putkistoon uusia haaroja, joilla simuloitiin nesteen katoamista matkalle ja vuotamista läpi venttiilin kuvan 49 mukaisesti.



KUVA 49. Putki- ja venttiilivuoto simuloituna. Vuodon kokoa voidaan säätää kuvaamalla sitä venttiilillä SIMITissä, mitä avataan sitten vuodon suuruuden mukaan.

Vuotavien putkien simulointi onnistui varsin hyvin ja oli helppo nähdä mitä siitä seuraa eri suuruisilla vuotoilla. Suuret vuodot voivat aiheuttaa sekvenssin jumitumisen, jos ei niitä oteta PLC-sovelluksessa huomioon. Myös vuotavia venttiileitä pystyttiin myös simuloimaan onnistuneesti, mutta niiden vaikutukset jäävät tässä laitteistossa toiminnan kannalta vähäiseksi.

4 TUTKIMUKSEN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena tehdä virtuaalinen käyttöönotto oikeaan Elomatic Oy:n asiakasprojektiin ja saada siitä osaamista, analysoida siitä saatuja kokemuksia sekä analysoida kannattaako virtuaalista käyttöönottoa hyödyntää jatkossa Elomatic Oy:n liiketoiminnassa.

Opinnäytetyössä etsittiin vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1) Miten virtuaalinen käyttöönotto tehdään?

Tässä työssä virtuaalinen käyttöönotto tehtiin onnistuneesti Elomatic Oy:n suunnittelemaan Outokumpu Oy:n kuonapatapinnoituslaitteistoon. Luvussa 3 kuvataan virtuaalisen käyttöönoton tekemisen eri vaiheet. Virtuaalinen käyttöönotto eri vaiheineen dokumentointiin kattavasti koittaen antaa siitä mahdollisimman selkeän kuvan.

Virtuaalisen käyttöönoton tekemisestä ja siinä käytettävistä ohjelmistotyökaluista tehtiin erillinen videoitu demo Elomatic Oy:lle ja muille kiinnostuneille. Demon tarkoituksena on antaa käsitys minkälaisia virtuaaliseen käyttöönottoon tarvittavat työkalut ovat ja minkälaista päivittäinen tekeminen on virtuaalista käyttöönottoa tehtäessä.

2) Saadaanko Elomatic Oy:lle hyötyä virtuaalisesta käyttöönotosta perinteiseen tapaan verrattuna?

Virtuaalisesta käyttöönotosta on tämän opinnäytetyön kokemusten perusteella kiistatonta hyötyä PLC-sovelluskoodin testauksessa. Testaus on helpompaa ja laitteesta tai prosessista saa paremman kokonaiskuvan SIMITissa ja MCD:ssa rakennetun simulaation kautta. Tämän seurauksena PLC-sovelluskoodi on laadukkaampaa ja valmiimpaa ennen oikeaa käyttöönottoa mikä on kaikkien osapuolien etu. Oikeaan käyttöönottoon menevää aikaa saadaan siis pienemmäksi, kun normaalisti siinä esiin nousevat ongelmat ovat luultavasti ilmenneet jo virtuaalisen käyttöönoton yhteydessä. Myös käyttöönoton jälkeen takuuajana ilmenevien ongelmien voi olettaa vähenevän, kun erilaisia vikatilanteita pystytään simuloimaan kattavasti etukäteen.

- 3) Miten virtuaalinen käyttöönotto vaikutta Elomatic Oy:n suunnitteluprojektin läpiviemiseen ja mitä eroja automaatioprojektissa on?

Virtuaalisen käyttöönoton vaikutuksesta suunnitteluprojektiin saatiin tietoa opinnäytetyön luvussa 2. Virtuaalinen käyttöönotto vaikuttaa, ja sen pitäisi vaikuttaa Elomatic Oy:n tai yleisesti tasolla minkä tahansa suunnittelutoimiston suunnitteluprojektiin useilla tavoilla. Selvimpänä muutoksena virtuaalinen käyttöönotto tarvitsee automaatisuunnittelun aikaistamisen. Virtuaalisessa käyttöönotossa havaitut asiat eivät enää ehdi vaikuttaa muuhun suunnitteluun, jos eri alojen suunnittelutyö on tehty perinteisesti peräkkäisinä vaiheina. Parasta olisi, kun suunnittelutyö eri suunnittelulajien välillä tehtäisiin rinnakkaisina vaiheina. Virtuaalinen käyttöönotto vaatii automaatisuunnittelusta lisäresursseja projektin suunnitteluvaiheessa.

Opinnäytetyössä tuli myös käytännössä, konstruktiota tehdessä esiin miten virtuaalinen käyttöönotto aiheuttaa vaatimuksia myös mekaniikkasuunnittelun 3D-mallille. Esimerkiksi pinnoituslaitteiston ruuvikuljettimet oli mallinnettu osana isoa kokonaisuutta, mikä esti niiden simuloinnin MCD:ssä. Jos 3D-mallia tehtäessä olisi sitä tiedetty hyödynnettävän virtuaalisessa käyttöönotossa, olisi tämä voitu ottaa huomioon sitä tehdessä. Suunnittelutyössä tarvitaan vuorovaikutusta mekaniikkasuunnittelijan ja virtuaalisen käyttöönoton tekijän kesken, milloin tällaisilta ongelmilta voidaan välttyä.

Virtuaalisen käyttöönoton aiheuttama työmäärä on ainakin alkuun suuri ja kuormittaa suoraan henkilöstöresursseja. Kuonapatapinnoituslaitteiston simulointiympäristön rakentamiseen tarvittava työmäärä vastasi lähes TIA Portal projektin, eli PLC:n sovellusohjelmoinnin vaatimaa työmäärää. Tilanteen voi olettaa helpottavan, kun projekteja on takana enemmän ja virtuaalisen käyttöönoton työkalut ja menetelmät ovat tutumpia. Työmäärään vaikuttaa myös oleellisesti millä tarkkuudella simulointimallit rakennetaan, eli tehdäänkö vain ehdoton minimitaso vai halutaanko pyrkiä tosielämää vastaavaan tarkkuuteen asti.

- 4) Voisiko virtuaalisesta käyttöönotosta tulla liiketoimintaa Elomatic Oy:lle?

Mietittäessä virtuaalisen liiketoiminnan liiketoimintamahdollisuuksia Elomatic Oy:lle keskitytään tässä valmiuksiin ja mahdollisuuksiin, eikä tässä oteta huomioon yrityksen mahdollisia strategisia linjauksia. Virtuaalisen käyttöönoton toteuttamiseen tarvitaan osaavia henkilöresursseja. Virtuaali-

seen käyttöönottoon tehdyt ohjelmistot, kuten SIMIT, on suunniteltu automaatioinsinöörien käytettäväksi ja siinä mielessä ohjelmistot on melko helppo oppia. Mekaniikan simulointiin käytettävä MCD on tarkoitettu joko automaatioinsinöörin tai mieluummin konetekniikan insinöörin käytettäväksi. MCD:llä tapahtumien luominen on kohtalaisen suoraviivaista, kun kyseisen toiminnon kerran tekee ja oppii. Uusien asioiden tekeminen on kuitenkin varsin haastavaa ainakin pelkällä automaatioinsinöörin taustalla. Varmasti olisi myös hyötyä, jos olisi kokemusta myös mekaniikan 3D-suunnittelusta. MCD-osuuden vaikutus jäi tässä virtuaalisessa käyttöönotossa kohtalaisen pieneksi, johon pinnolaitteiston tyypistä. Pinnolaitteistossa oli varsin vähän liikkuvia osia, joiden tarkasteluun MCD tuo hyötyä. Laitteisiin, joissa on paljon liikettä, se antanee huomattavasti enemmän lisäarvoa.

Elomatic Oy:lla on virtuaaliseen käyttöönottoon sopivaa osaavaa henkilöstöä, joka luultavasti suhteellisen pienellä koulutuksella oppisi tekemään virtuaalisia käyttöönottoja. Siitä näkökulmasta virtuaalinen käyttöönotto on hyvinkin mahdollista liiketoimintaa. Henkilöstöressurssien lisäksi tarvitaan asiakkaita, joille virtuaalisia käyttöönottoja tehdään. Tätä opinnäytetyötä tehtäessä on käynyt ilmi, että asiakkaita voitaisiin saada jopa suoraan Siemens-partneriltamme, jolla ei aina omat resurssit riitä toteuttamaan kaikkia virtuaalisia käyttöönottoja. Elomatic Oy voisi tarjota virtuaalista käyttöönottoa erillisenä optiona, kun asiakkaalle tarjotaan joko suunnittelukokonaisuutta tai pelkkää automaatio-suunnittelua.

Opinnäytetyössä kävi myös ilmi, että joillakin toimijoilla virtuaalinen käyttöönotto on jo suunnitteluvaatimuksissa, eli ilman sitä voi myös jopa jäädä ulos tarjouskilpailusta. Jos tätä miettii toisinpäin, tarjoaa virtuaalinen käyttöönotto kilpailuetua tarjousta laatiessa. Virtuaalisen käyttöönotto voi olla vahvuus markkinoinnissa. Virtuaalisen käyttöönoton mahdollistama laitteen / prosessin käyttö ennen oikean elämän vastinetta varmasti kiinnostaa asiakkaita. Asiakkaita varmasti kiinnostaa myös virtuaalinen käyttöönoton mahdollistama operaattorien koulutus virtuaalisessa ympäristössä ennen oikean elämän vastinetta, mutta myös sen jälkeen. Myös jo olemassa olevan tuotannon optimointi sekä mahdollisinten muutosinvestointien kannattavuuden arviointi virtuaalisen käyttöönoton avulla voisivat herättää kiinnostusta.

Yhteenvetona tuloksista voidaan todeta opinnäytetyön tuloksena sen vastanneen kaikkiin esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Opinnäytetyö toi esiin virtuaalisen käyttöönoton useat vahvuudet ja myös sen asettamat vaatimukset koko suunnitteluprosessille ja suunnitteluorganisaatiolle. Opinnäytetyön konstruktiossa suoritettussa virtuaalisessa käyttöönotossa löydettiin PLC-koodin ongelmia,

mitkä olisivat jääneet muuten oikeaan käyttöön, mikä osaltaan tukee tekniikan toimivuutta. Tätä voidaan pitää hyvänä asiana, koska muuten samat asiat olisivat tulleet vastaan oikeassa käytössä ja aiheuttaneet siellä paljon tuntuvampaa haittaa. Tietoperustassa esitetyt virtuaalisen käyttöönoton hyödyt ja haasteet tulivat myös käytännössä esiin, mistä ylivoimaisesti suurimpana virtuaalisen käyttöönoton vaatima suuri työmäärä. Suuren työmäärän vuoksi täytyykin aina tapauskohtaisesti arvioida, minkälaisessa projektissa virtuaalisesta käyttöönotosta on aidosti hyötyä.

5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli tehdä virtuaalinen käyttöönotto oikeaan Elomatic Oy:n asiakasprojektiin ja analysoida siitä saatuja kokemuksia, sekä analysoida kannattaako virtuaalista käyttöönottoa mahdollisesti hyödyntää jatkossa Elomatic Oy:n liiketoiminnassa. Tavoitteena oli myös, että opinnäytetyö antaa Elomatic Oy:n automaatiohenkilöille ja muille kiinnostuneille käsityksen siitä, miten simulaatioympäristö rakennetaan ja virtuaalinen käyttöönotto tehdään.

Opinnäytetyö toi hyvin käyttökelpoista tietoa virtuaalisesta käyttöönotosta ja kaikkiin aseteltuihin tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset. Tiedon luotettavuutta pidän hyvänä tietoperustan, kuten myös itse virtuaalisen käyttöönoton, eli toteutetun konstruktion osalta. Mielestäni opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin kokonaisuutena erittäin hyvin.

Virtuaalista käyttöönottoa käsittelevää kirjoitettua tietoa on vaikeasti saatavilla. Kuten todettua, aihe on vielä varsin uusi. Vaikka kirjoitettua tietoa on vähän, on se kuitenkin yleisesti ottaen laadukasta. Useimmat saatavilla olevat lähteet ovat tieteellisiä julkaisuja. Tietoperustasta nostaisin erikseen esiin haastattelut, joissa kahdelta virtuaalisen käyttöönoton isolta toimijalta saatiin aiheeseen tuoretta ja laadukasta tietoa. Mielestäni opinnäytetyön tietoperustaan saatiin laajasti oleellista tietoa ja se tuki aidosti konstruktivisen tutkimuksen seuraavana vaiheena toteutettua konstruktiota.

Virtuaalisen käyttöönoton, eli opinnäytetyön konstruktion raportointi on eräänlainen kompromissi. Virtuaalisesta käyttöönotosta pitää antaa tarpeeksi selkeä ja tarkka kuva, mutta tarpeettoman yksityiskohtaiseksi menemistä laajasta työstä piti koittaa välttää. Mielestäni tässä onnistuttiin hyvin. Konstruktion rakentamisessa saatiin tukea Siemens Oy:lta ja yhteistyö toimi erittäin hyvin. Virtuaalisessa käyttöönotossa käytetyistä Simitistä ja MCD:stä ei juuri käyttökelpoisia esimerkkejä tai johdantoja internetistä löydy, ja lisäksi ohjelmat olivat minulle ennestään tuntemattomia sekä monipuolisuudessaan myös varsin monimutkaisia, joten tämä olikin tarpeen.

Tässä opinnäytetyössä virtuaalisen käyttöönoton kohteena ollut annostelulaitteisto on laitteena kohtalaisen yksinkertainen, joten olettaisin monimutkaisempia laitteita tai prosesseja simuloimassa virtuaalisen käyttöönoton työkaluissa olevan vielä paljon lisää opeteltavaa. Kuten todettua, työkalut ovat laajuudessaan monimutkaisia ja niissä on todella paljon opeteltavaa. Suurempia laitteita si-

muloidessa on simulaation rakentamiseen tarvittava työmäärä vieläkin suurempi. Virtuaalista käyttöönottoa tekevältä henkilöltä vaaditaan vahvaa taustaa automaatiotekniikasta, jotta virtuaalinen käyttöönotto voi onnistua.

Opinnäytetyössä kului paljon aikaa myös TIA Portalilla tehtyä PLC-sovelluskoodia korjaillessa ja muokatessa virtuaalisessa käyttöönotossa havaittujen PLC-sovelluskoodin ongelmien takia. Tämä johtuu myös paljolti siitä, että en ole TIA Portalia kovinkaan paljoa käyttänyt. Työtä tehdessä opin myös TIA Portalista paljon uutta.

Tämä tutkimustyö loi paljon uutta osaamista minulle henkilökohtaisesti ja toivon pystyväni hyödyntämään ja edelleen kehittämään opittuja taitoja jatkossa työelämässä. Kokonaan uuden osaamisen lisäksi tutkimustyö myös syvensi osaamistani jo ennestään tutuilla automaatiotekniikan alueilla. Opinnäytetyön merkitystä toimeksiantajalle, eli Elomatic Oy:lle pitäisin tällä tietoa kohtalaisena. Opinnäytetyö on matkan varrella herättänyt kiinnostusta kollegoissa, ja heille uskon opinnäytetyön tarjoavan hyvän tietopaketin virtuaalisesta käyttöönotosta. Tätä kirjoittaessa en kuitenkaan tiedä, miten Elomatic Oy aikoo edetä liiketoiminnassansa virtuaalisen käyttöönoton kanssa, mikä luonnollisesti vaikeuttaa opinnäytetyön merkityksen arvioimista kokonaisuudessaan Elomatic Oy:lle. Virtuaalisesta käyttöönotosta on varsinkin suomenkielisiä julkaisuja varsin vähän, joten uskoisin opinnäytetyön palvelevan myös muita automaatioinsinöörejä ja insinööriopiskelijoita.

LÄHTEET

Adobe 2023. STEP-tiedostot. Hakupäivä 29.1.2024. <https://www.adobe.com/fi/creativecloud/file-types/image/vector/step-file.html>.

Autodesk 2024. 3D Modeling. Hakupäivä 11.4.2024. <https://www.autodesk.com/solutions/3d-modeling-software>.

ANSI/ISA-95.00.01-2000. Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology. Research Triangle Park: Instrument Society of America. Hakupäivä 12.4.2024. <https://pdfcoffee.com/ansi-isa-950001-2000-pdf-free.html>.

Bandyopadhyay, Susmita & Bhattacharya Ranjan 2014. Discrete and Continuous Simulation: Theory and Practice. Boca Raton, USA: CRC Press. Hakupäivä 12.4.2024. O'Reilly Media. Vaatii käyttöoikeuden.

Bolton, William 2021. Instrumentation and Control Systems, 3rd Edition. Oxford, UK: Newnes. Hakupäivä 12.4.2024. O'Reilly Media. Vaatii käyttöoikeuden.

Elomatic 2024a. Kuonapatapinnoitusaseman suunnittelutyö.

Elomatic 2024b. Tietoa meistä. Hakupäivä 4.6.2024. <https://www.elomatic.com/fi/tietoa-meista/>.

Gummerus, Viivi 2021. Prosessisimuloinnin hyödyt tuotanto-organisaatiolle. LUT-yliopisto. Kemi-antekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. Hakupäivä 16.1.2024. https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/162562/Kandidaatinty%C3%B6_Gummerus_Viivi.pdf?sequence=1.

Hoffman, Peter, Schumann, Reimar, Maksoud, Talal M.A, & Premier, Giuliano C. 2010. Virtual commissioning of manufacturing systems a review and new approaches for simplification. European council for modelling and simulation. Hakupäivä 11.4.2024. https://www.scs-europe.net/conf/ecms2010/2010%20accepted%20papers/ibs_ECMS2010_0041.pdf.

af Hällström, Henrik 2024. Application engineer manager. Visual Components Oy. Haastattelu 27.3.2024.

Jain, Atul, Daniel Alexander, Vera & Harrison, Robert 2010. Virtual Commissioning of Modular Automation Systems. IFAC Proceedings Volumes Volume 43, Issue 4 (2010), 72-77. ScienceDirect. Elsevier B.V. Hakupäivä 13.4.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015301208>.

Lechler, Tobias, Fischer, Eva, Metzner, Maximilian, Mayr, Andreas & Franke, Jörg 2019. Virtual Commissioning – Scientific review and exploratory use cases in advanced production systems. Procedia CIRP Volume 81 (2019), 1125–1130. ScienceDirect. Elsevier B.V. Hakupäivä 11.4.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119305839>.

Lee, Chi & Park, Sang 2014. Survey on the virtual commissioning of manufacturing systems. Journal of Computational Design and Engineering 1, Issue 3 (2014), 213-222. ResearchGate GmbH. Hakupäivä 14.4.2024. https://www.researchgate.net/publication/273834932_Survey_on_the_virtual_commissioning_of_manufacturing_systems.

Mehta, B.R. & Jaganmohan, Reddy Y. 2015. Industrial Process Automation Systems. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. Hakupäivä 12.4.2024. O'Reilly Media. Vaatii käyttöoikeuden.

Metsälä, Samuli 2023. Technical Sales Support Professional. Siemens Osakeyhtiö. Haastattelu 15.11.2023.

Miglierini, Giuliana 2022. FAT and SAT, a critical step for the introduction of new equipment. Hakupäivä 3.6.2024. <https://eipg.eu/fat-and-sat-testing-a-critical-step-for-the-introduction-of-new-equipment/>.

Ojasalo, Katri, Moilanen, Teemu & Ritalahti, Jarmo 2015. Kehittämistyön menetelmät. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Rajasekar, R., Moganapriya, C., Sathish, Kumar P. & Harikrishna, Kumar M. 2023. Integration of Mechanical and Manufacturing Engineering with IoT. Beverly, USA: Scrivener publishing. Hakupäivä 12.4.2024. O'Reilly Media. Vaatii käyttöoikeuden.

Siemens 2024. Industry Mall tuoteluettelo. Hakupäivä 22.4.2024. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6AV2124-0MC01-0AX0>.

Siemens AG Digital industries 2021. S7 PLC-SIM Advanced function manual 05/2021 edition. Nürnberg, Saksa. Hakupäivä 12.12.2023. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/879/109798879/att_1071484/v1/s7-plcsim_advanced_function_manual_en-US_en-US.pdf.

Siemens AG Digital industries 2022. S7 PLC-SIM Advanced function manual 11/2022 edition. Nürnberg, Saksa. Hakupäivä 24.11.2024. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/110/109813110/att_1119149/v1/s7-plcsim_advanced_function_manual_en-US_en-US.pdf.

Siemens AG Digital industries 2024. SIMIT Simulation platform V11.1 information system 01/2024. Käyttöohje. Nürnberg, Saksa.

Siemens AGM 2024. Virtual commissioning of machines with S7-PLCSIM Advanced, SIMIT and NX MCD. Hakupäivä 16.4.2024. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109758943/virtual-commissioning-of-machines-with-s7-plcsim-advanced-simit-and-nx-mcd?dti=0&lc=en-US>.

Siemens PLM 2023. What is 3D modeling? Hakupäivä 3.1.2024. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/3d-modeling/17977>.

Sorvari, Jyri 2024. Senior application engineer. Visual Components Oy. Haastattelu 27.3.2024.
Striffler, Nikolai & Voigt, Tobias 2023. Concepts and trends of virtual commissioning – A comprehensive review. Journal of Manufacturing Systems Volume 71 (2023), 664-680. ScienceDirect. Elsevier B.V. Hakupäivä 12.12.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612523002145>.

Ugarte, Miriam, Etxeberria, Leire, Unamunob, Gorka, Luis, Bellancob, Jose & Ugaldec, Eneko 2022. Implementation of digital twin-based virtual commissioning in machine tool manufacturing.

Procedia Computer Science Volume 200 (2022), 527-536. ScienceDirect. Elsevier B.V. Hakupäivä 19.3.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922002599>.

Välimäki, Kari & Niemelä, Marketta 2023. Teollisuuden robotiikka. Keuruu: Suomen Robotiikkayhdistys ry.

White, M.T 2023. Mastering PLC Programming. Birmingham, UK: Packt Publishing. Hakupäivä 12.4.2024. O'Reilly Media. Vaatii käyttöoikeuden.