



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marko Rajamäki

Virtuaalisen käyttöönoton hyödyntäminen automaatiosuunnittelussa

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (ylempi AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (ylempi AMK), Automaatiotekniikka

Tekijä: Marko Rajamäki

Työn nimi: Virtuaalisen käyttöönoton hyödyntäminen automaatiosuunnittelussa

Ohjaaja: Petteri Mäkelä

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 53

Tässä työssä tutkittiin digitaalisen kaksosen (digital twin) vaikutuksia teollisuusautomaation projektin eri vaiheisiin. Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka simulaatiot paransivat suunnittelua, testauksia ja käyttöönottoa sekä millaisia ajansäästöjä ja kustannusetuja ne toivat verrattuna perinteisiin menetelmiin. Työ pohjautui Caplan Oy:n asiakkaalle toteuttamaan projektiin, jossa hyödynnettiin simulaatiota useissa vaiheissa, kuten esisuunnittelussa, automaatiosuunnittelussa ja virtuaalisessa käyttöönotossa. Tavoitteena oli arvioida digitaalisen kaksosen roolia projektin optimoinnissa ja riskienhallinnassa sekä sen kykyä tukea suunnittelua ja testauksia.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin laadullista analyysiä, jossa tarkasteltiin digitaalisen kaksosen käytännön toteutusta ja toimivuutta. Aineiston keruu perustui teoreettiseen tietoon tieteellisistä artikkeleista, alan kirjallisuudesta sekä valmistajien teknisestä dokumentaatiosta. Lisäksi tutkimuksessa sovellettiin tapaustutkimusta, joka keskittyi yhteen konkreettiseen projektiin ja sen eri vaiheisiin.

Tulokset osoittivat, että digitaalisella kaksosella on merkittävä vaikutus projektin suunnittelun ja käyttöönoton tehokkuuteen. Simulaatioiden avulla on mahdollista testata ja optimoida järjestelmiä virtuaalisesti ennen fyysistä toteutusta, mikä vähentää riskejä ja parantaa järjestelmän luotettavuutta. Digitaalisen kaksosen avulla voidaan myös vähentää suunnitteluvirheitä ja nopeuttaa projektin etenemistä. Lisäksi digitaalinen kaksonen tukee projektityöskentelyn kokonaisvaltaista optimointia ja mahdollistaa parempaa riskienhallintaa, mikä johtaa kustannus- ja ajansäästöihin verrattuna perinteisiin menetelmiin. Työ tuo esille, kuinka digitaalinen kaksonen voi toimia realistisena fyysisen järjestelmän kuvaajana, mutta sen luominen vaatii tarkkaa suunnittelua ja voimavarojen kohdentamista.

¹ Asiasanat: simulaatio, testaus, tuotanto, käyttöönotto, projekti

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Master of Engineering, Automation Engineering

Author/s: Marko Rajamäki

Title of thesis: Utilizing virtual commissioning in automation design

Supervisor: Petteri Mäkelä

Year: 2025

Number of pages: 53

The study examined the impact of digital twin technology on the various stages of an industrial automation project. The thesis explored how simulations could improve design, testing, and commissioning processes. In addition, the aim was to identify potential time and cost savings compared to traditional methods. The study was based on a project carried out for a client by Caplan Oy. In the project, simulation was utilized in several phases, such as pre-design, automation design, and virtual commissioning. The goal was to assess the role of digital twin technology in optimizing the project and managing risks, as well as its ability to support design and testing activities.

A qualitative analysis was used as the research method, focusing on examining the practical implementation and effectiveness of digital twin technology. The data was collected from theoretical sources, including scientific articles, industry literature, and technical documentation from manufacturers. Additionally, a case study approach was applied, concentrating on one specific project and its various stages.

The results indicate that digital twin technology has a significant impact on the efficiency of project design and commissioning. Through simulations, systems can be tested and optimized virtually before physical implementation, reducing risks and improving system reliability. Digital twin technology also supports the overall optimization of project work and facilitates better risk management, leading to time and cost savings compared to traditional methods. The study highlights how digital twin can realistically represent the physical system, though its creation requires careful planning and resources.

¹ Keywords: simulation, testing, production, commissioning, project

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	10
1.1 Työn tausta	10
1.2 Tavoite	11
1.3 Tutkimusmenetelmät	11
1.4 Rakenne	12
1.5 Toimeksiantaja	12
2 AUTOMAATION SIMULOINNIN RATKAISUT	13
2.1 Automaatiojärjestelmien testaus ja laadunvarmistus	13
2.2 Automaation simulointi	13
2.2.1 Simuloinnin yleiset hyödyt.....	14
2.2.2 Simuloinnin haittoja ja haasteita.....	14
2.3 Digitaalinen kaksonen (digital twin)	15
2.4 Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen ja resursointi	16
2.4.1 Ajalliset hyödyt.....	17
2.4.2 Turvallisuus.....	18
2.4.3 Testaus, koulutus ja tuki	19
2.5 Simulointi ja ohjelmistokehitys pilvipalveluissa	19
2.6 Virtuaalikoneet pilvipalveluna	20
2.7 Simuloinnissa käytettäviä ohjelmistoja ja menetelmiä	21
2.7.1 Rest -palvelin, kommunikaatio TIA Portalin kanssa	21
2.7.2 OPC UA	21
2.7.3 Beckhoff Twincat 3.....	22
2.8 OPC UA -pohjaisen simuloinnin ja TIA Portal -integraation vertailu Siemens NX - ympäristössä	22

3	SIEMENSIN OHJELMISTOT	26
3.1	WinCC Unified, HMI-simulointi	26
3.2	Siemens S7-PLCSIM Advanced.....	26
3.3	Siemens NX ja Mechatronics Concept Designer	27
3.4	SIMIT.....	30
3.5	Siemens TIA Portal	31
3.6	Simulation Model Generator (SMG)	31
4	PROJEKTIN JA SIMULOINNIN TOTEUTUS.....	34
4.1	Asiakkaan tavoitteet projektille	34
4.2	Järjestelmän esittely.....	34
4.3	Projektissa käytettävät ohjelmistot	35
4.4	Automaatio- ja mekaniikkasuunnittelu	36
4.5	Mekaniikan simulointi	38
4.6	Automaatio-ohjelmiston simulointi	40
4.7	Käyttöliittymän simulointi	42
4.8	Moottorihjausten simulointi	43
4.9	Turvatoimilaitteiden simulointi	44
4.10	Esikokoonpano ja esikäyttöönotto	46
4.11	Käyttöönotto loppuasiakkaalla.....	46
5	TULOKSET, ARVIONTI JA POHDINTA	48
5.1	Tulokset.....	48
5.2	Pohdinta	49
	LÄHTEET	51

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. OPC-palvelimen kautta kulkevat signaalit Siemens NX:n Signal Mapping - näkymässä.....	23
Kuvio 2. NX MCD:n Sequence editor -sekvenssieditori.	28
Kuvio 3. Kiihdytyskäyrä kuvattuna NX:ssä, jota on ohjattu simuloitulla Twincat -logiikalla.	29
Kuvio 4. SIMITiin liitetyt Couplingit.....	31
Kuvio 5. Simulation Model Generatorin näkymä.	32
Kuvio 6. Simuloinnissa käytettyjen ohjelmistojen ja projektin sisältöjen vientirakenne suunnittelussa.....	36
Kuvio 7. Simulaatiomallissa olevat kuljettimet. Materiaali liikkuu kuljettimien päällä ja seuraaville kuljettimille Transport Surface -toiminnon avulla.....	40
Kuvio 8. Teknologiaobjektin kotiutustoiminnon parametrinäkymä TIA Portalissa.	41
Kuvio 9. Mallinnettu anturi, ja anturin tunnistusalue "Collision Sensor".....	42
Kuvio 10. SIMITiin tuotu servo-ohjaus.	44
Kuvio 11. ProfiSafe telegram - turvasanat määriteltynä TIA Portalissa akselille.	45
Kuvio 12. Safety Telegram - turvaosoiteisto liitettynä SIMITissä akselille.....	45
Taulukko 1. Vertailu Beckhoff-NX liitoksen ja TIA Portal-NX liitoksen välillä.....	24
Taulukko 2. Simuloinnin määritelty laajuus, simulointikomponenttien määrä.....	38

Käytetyt termit ja lyhenteet

ADS	ADS (Automation Device Specification) on Beckhoffin oma kommunikaatioprotokolla, joka mahdollistaa tiedonsiirron TwinCAT-ohjelmiston ja muiden laitteiden tai sovellusten välillä.
AML	Automation Modelling Language. XML-pohjainen tiedostomuoto, jota käytetään automaatiojärjestelmien laite- ja prosessitietojen vaihtoon eri ohjelmistojen välillä.
Chart	Sivu, johon kerätään simulaation ohjaukset ja ominaisuudet SIMU-Tissä.
Digital Twin	Digital Twin (digitaalinen kaksonen) on digitaalinen mallikokonaisuus esimerkiksi koneesta tai laitteistosta.
FBD	Function block diagram. Ohjelmointikieli, jota käytetään usein koneohjauksissa.
HMI	Human Machine Interface, laitteen käyttöliittymä
MBE	Model Based Engineering, mallipohjainen virtuaalinen testaus tai suunnittelu.
MCD	Mechatronics Concept Designer on NX:n lisäosa, jolla voidaan tehdä simulointia.
MQTT	MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) viestinvälitysprotokolla, jota käytetään erityisesti IoT-sovelluksissa ja automaatiojärjestelmissä, kuten teollisuus-PC:issä ja PLC-ohjauksissa.
NX	Siemens -valmistajan mekaniikkasuunnitteluohjelmisto.

OPC UA	OPC UA on teollisen internetin protokolla, joka mahdollistaa M2M-viestinnän. Se tukee suorituskykyistä binaariprotokollaa ja web-bipalveluille tarkoitettua SOAP-protokollaa. OPC UA käyttää yhtä TCP-porttia ja sisältää vahvan tietoturvan.
PLC	PLC (Programmable Logic Controller) on teollisuudessa käytettävä ohjelmitava logiikkaohjain, joka ohjaa koneita ja prosesseja automaattisesti. Se lukee antureilta tulevaa tietoa, käsittelee sen ohjelmoidun logiikan mukaan ja ohjaa ulostuloja, kuten moottoreita, venttiilejä tai valoja.
PLCSIM	Automaatiolaitteiden simulointiohjelmisto, jolla voidaan simuloida Siemensin eri sarjojen PLC-laitteita.
Profisafe	Siemensin turvaohjelmiston yleinen termi. Profisafella voidaan viitata esimerkiksi moottorikäytön turvasanaan.
SCL	Structured Control language. Ohjelmointikieli, jota käytetään usein koneohjauksissa.
SIMIT	Siemensin simulointiohjelmisto toimilaitteiden simulointeja varten.
SMG	Simulation Model Generator, TIA portaliin ladattava lisäosa, jolla viedään projektin komponentteja SIMIT-ohjelmistoon.
Telegram	Telegram Siemensin moottoriohjauksissa tarkoittaa viestikehystä, jota käytetään tiedonsiirrossa ohjausjärjestelmän ja moottoriohjaimen välillä.
TIA Portal	Totally Integrated Automation, Siemens -valmistajan automaatio-suunnitteluohjelmisto.
TwinCat 3	Beckhoff-valmistajan automaatio-suunnitteluohjelmisto, joka perustuu Microsoft Visual Studioon.

Virtuaalikone

Tietokone, joka käynnistetään ja jota ylläpidetään virtualisaatio-
velluksen avulla. Virtuaalikone käyttäytyy kuten se toimisi fyysi-
sellä laitteistolla.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Simulaatiot ovat keskeisessä roolissa PLC-ohjelmien testauksessa, optimoinnissa, vianhaussa ja ongelmien todentamisessa (Groover, 2014, s. 233). Ne tarjoavat graafisen ympäristön, jossa voidaan testata ja kehittää ohjelmia kustannustehokkaasti ja keskeyttämättä oikean järjestelmän toimintaa. Erityisen merkittävä simulaatiotekniikka on digitaalinen kaksonen (digital twin), joka yhdistää virtuaalisen mallin ja reaaliaikaisen tiedon. Se mahdollistaa järjestelmän toiminnan reaaliaikaisen seurannan ja optimoinnin sekä tarjoaa turvallisen alustan testaukselle ilman fyysisiä riskejä. Lisäksi se auttaa ennakoimaan huoltotarpeita ja vähentämään käyttökatkoja. Digitaalinen kaksonen tukee myös nopeampaa tuotekehitystä, sillä se vähentää fyysisten prototyyppien tarvetta ja auttaa tunnistamaan suunnitteluvirheet varhaisessa vaiheessa.

Tässä työssä tutkitaan projektia, jonka työn toimeksiantaja, Caplan Oy, toteutti asiakkaalleen. Projektissa hyödynnettiin simulaatiota useissa eri vaiheissa. Caplan Oy on tehnyt aiemmin kartoituksen saatavilla olevista simulaatio-ohjelmista, joita automaatio- ja mekaniikkasuunnittelussa voidaan hyödyntää (Caplan, sisäinen tietolähde, 2021). Näitä ohjelmia ovat esimerkiksi Siemens NX, Plant Simulation ja Visual Components. Kartoitusten, projektien taustojen ja kokemuksen perusteella päädyttiin käyttämään Siemensin ohjelmistokokonaisuutta.

Esisuunnittelussa mekaanisten kokoonpanojen simulointiin käytettiin Siemensin NX-ohjelmistoa ja sen lisäosaa, Mechatronics Concept Designeria. Laitekokoonpanoja simuloitiin useita erilaisia. Näistä valittiin toimivin ratkaisu, jossa kappaletavara-automaation materiaalivirta saatiin liikkumaan parhaiten ja turvallisimmalla tavalla.

Automaatiosuunnitteluvaiheessa toteutettiin automaatio-ohjauksen sekä käyttöliittymän liittäminen simuloituun mekaniikkamalliin sekä järjestelmän virtuaalinen käyttöönotto. Myöhemmin projektissa suoritettiin järjestelmän esikokoonpano ja fyysinen käyttöönotto. Tässä työssä tutkitaan, miten simulaation ja digitaalisen kaksosen avulla voidaan lisätä tehokkuutta projektin eri vaiheissa, parantaa suunnittelu- ja käyttöönottoprosesseja sekä vähentää kustannuksia ja riskejä.

1.2 Tavoite

Työssä selvitetään digitaalisen kaksosen tuomia vaikutuksia projektin eri vaiheisiin. Työn teoriaosuudessa tutustutaan simulaatioihin ja digitaaliseen kaksoseen. Työosuudessa selvitetään, miten suunnitellaan simuloitu projekti, mitä projektin tekeminen simulointia hyödyntäen vaatii ja mitä hyötyjä simuloinnista on projektin suunnittelussa, testauksessa, käyttöönotossa ja lopullisessa käyttökohteessa. Tavoitteena on tutkia asiakasprojektin avulla, millaista lisäarvoa simulaatiot voivat tuoda projektityöskentelyyn ja miten niiden käyttö voi nopeuttaa työtä. Työssä esitetään ratkaisuja seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Miten digitaalinen kaksonen vaikuttaa projektin suunnittelun, testauksen ja käyttöönoton tehokkuuteen?
- Millä tavoin digitaalinen kaksonen tukee projektityöskentelyn kokonaisvaltaista optimointia ja riskienhallintaa?
- Kuinka realistinen digitaalinen kaksonen on fyysisen järjestelmän kuvaajana, ja mitä resursseja sen luominen edellyttää?
- Millaisia kustannus- ja ajansäästöjä digitaalinen kaksonen tuo verrattuna perinteisiin menetelmiin?

1.3 Tutkimusmenetelmät

Työssä käytetään laadullista analyysiä analysoimaan digitaalisen kaksosen toimivuutta. Teoreettista tietoa aiheeseen haettiin useista eri lähteistä, kuten tieteellisistä artikkeleista, alan kirjallisuudesta sekä erityisesti automaatiota, teollista internetiä (Industrial Internet of Things, IIoT) ja digitaalista kaksosta käsitteleviltä verkkosivustoilta. Keskeisiä lähteitä olivat esimerkiksi ScienceDirect, IEEE Xplore sekä luotettavat teknologia-alan blogit ja valmistajien tekniset dokumentaatiot, kuten Siemensin ja Beckhoffin materiaalit (Siemens i.a.h). Lisäksi hyödynnettiin avoimia oppimateriaaleja ja tutkimusjulkaisuja, joita löytyi esimerkiksi Google Scholarista ja ResearchGate-palvelusta.

Tutkimuksessa käytettiin laadullista tutkimusotetta, koska tavoitteena oli ymmärtää digitaalisen kaksosen toimivuutta ja käytännön toteutusta mahdollisimman kokonaisvaltaisesti.

Laadullinen analyysi mahdollistaa ilmiön syvällisen tarkastelun erityisesti silloin, kun tutkitaan uusia tai kehittyviä teknologioita (Creswell, 2013). Menetelmänä sovellettiin tapaustutkimusta (Yin, 2018), jossa keskityttiin yhteen konkreettiseen projektiin ja sen toteutukseen.

Projektin aikana tehtiin havaintoja käytännön työskentelystä, teknologian toimivuudesta sekä järjestelmän eri osa-alueiden yhteensovittamisesta. Havainnot dokumentoitiin systemaattisesti, ja niitä hyödynnettiin analysoitaessa digitaalisen kaksosen käytettävyyttä ja tehokkuutta. Digitaalisen kaksosen roolia ja merkitystä analysoitiin myös suhteessa aiempaan tutkimukseen ja alan kehitykseen, jotta sen toimintaa pystyttiin tarkastelemaan kriittisesti osana modernia automaatioympäristöä.

1.4 Rakenne

Luvussa 1 esitellään työn tausta, tavoite ja käytetyt tutkimusmenetelmät. Luvussa 2 esitellään automaation simulaation ratkaisuja, kuten digitaalisen kaksosen ja simulaatioihin sekä virtuaaliseen käyttöönottoon liittyvää teoriaa. Luvussa 3 esitellään työhön liittyvä projekti. Luvussa 4 esitellään projektin vaiheita suunnittelusta simulointiin ja käyttöönottoon ja tutkitaan asiakasprojektin avulla, millaista lisäarvoa simulaatiot voivat tuoda projektityöskentelyyn. Luvussa 5 kootaan yhteenveto, arviointi ja pohdinta.

1.5 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantaja on Caplan Oy, joka on perustettu vuonna 2015. Caplan Oy tarjoaa automaatio suunnittelua, sähkösuunnittelua, teknistä laskentaa ja mekaniikkasuunnittelua. Digitaalinen kaksonen on yksi Caplan Oy:n tarjoamista digitaalisista palveluista, joka yhdistää sekä automaatio- että mekaniikkasuunnittelun. Caplan Oy:n toimipiste sijaitsee Seinäjoella.

2 AUTOMAATION SIMULOINNIN RATKAISUT

2.1 Automaatiojärjestelmien testaus ja laadunvarmistus

Automaatiojärjestelmien testaus on tärkeä menetelmä yritysten tuotteiden laaduntarkastelussa (Groover, 2014, s. 623). Sen avulla tarkastetaan tuotteen tai osan kelpoisuus suunnittelun asettamiin rajoihin. Testaus on termi, jolla viitataan tuotteen toiminnallisten ominaisuuksien arviointiin. Testauksella selvitetään, toimiiko tuote niin kuin sen on tarkoitus toimia, toimiiko se tarvittavan ajan, toimiiko vaikeissa olosuhteissa, kuten korkeissa lämpötiloissa tai kosteissa ympäristöissä. QC-testaukseksi sanotaan testausta, jossa testattavaa tuotetta, kokoonpanoa, materiaalia tai osaa tarkkaillaan sen todellisen käytön aikana tai käytön aikana todellisissa olosuhteissa. Lyhenne QC tulee sanoista Quality Control. Tuotetta voidaan esimerkiksi testata käyttämällä sitä tietyn ajan, jolloin määritetään, toimiiko se oikein. Jos tuote läpäisee testin, se hyväksytään lähetettäväksi asiakkaalle. Osa tai materiaali voidaan altistaa jännityskuormitukselle, joka on yhtä suuri tai usein suurempi kuin normaalin käytön aikana odotettavissa oleva kuormitus.

Testauksessa voidaan tehdä myös tuotteen kalibrointia (Groover, 2014, s. 623). Tuotteen testauksen aikana yksi tai useampi toimintamuuttuja mitataan ja tiettyihin alueisiin voidaan tehdä säätöjä, jotka vaikuttavat muuttujiin. Esimerkiksi tietyissä lämmityslaitteissa on elementtejä, jotka testataan lämpötilan osalta. Jos lämpötila on liian korkea tai liian matala tietyn ajan kuluttua, ohjauspiiriin voidaan tehdä säätöjä esimerkiksi potentiometrin asetuksiin, jolla nostetaan lämpötila hyväksyttävälle toiminta-alueelle.

2.2 Automaation simulointi

Teollisen automaation simulointi on tehokasta, mutta vielä yleisesti hyvin vähän käytettyä suunnitteluun, tuotekehityksen ja ylläpidon toimintaa (ISA, 2020). Simuloinnin avulla voidaan lyhentää projektin suunnittelu-aikaa ja käyttöönottoaikaa, vähentää kokonaiskustannuksia ja se voi helpottaa päätösten tekoa suunnittelussa. Jos laitteistoa ei ole vielä valmistettu, tietyt toiminnot voidaan testata vain mekaniikkamallista tehdyn simulaation avulla suunnitteluvaiheessa.

2.2.1 Simuloinnin yleiset hyödyt

Simulaatio on yksi tavoista kehittää automaatiojärjestelmiä (Robinson, 2014, s. 8). Mahdollisesti järjestelmää voidaan testata myös testaamalla todellista laitteistoa. Esimerkiksi tehtaan laitejärjestystä tai sijaintia voidaan muuttaa. On olemassa ilmeisiä syitä, miksi simulaatio on parempi vaihtoehto kuin oikean järjestelmän testaaminen. Simulaatiolla voidaan saavuttaa monia erityisiä hyötyjä, kuten kustannussäästöjä ja tehokkaampaa ajan käyttöä.

Simulaatiolla on monia etuja verrattuna oikean järjestelmän testaamiseen. Oikealla järjestelmällä testaaminen on usein kallista, ja toimivilla järjestelmillä testattaessa laitteen käyttö täytyy yleensä keskeyttää. Simulaatiolla muutoksia voidaan tehdä ilman, että oikean järjestelmän toiminta häiriintyy. Mikäli ohjelmamuutokset aiheuttavat ongelmia, testaus voi johtaa lisäkustannuksiin ja asiakkaan tyytymättömyyteen.

Oikealla järjestelmällä testaaminen on myös aikaa vievää, ja haluttujen muutosten vaikutusten näkeminen voi viedä paljon aikaa. Simulaatiomalleilla kokeiluja voidaan suorittaa huomattavasti nopeammin kuin fyysisellä laitteistolla, mikä mahdollistaa ongelmien havaitsemisen ennen varsinaista käyttöönottoa. Lisäksi simulaatiomallilla voidaan toistaa järjestelmän muutoksia useita kertoja. Esimerkiksi eri robottien toimintoja voidaan testata toistuvasti, kun taas oikeilla järjestelmillä testausmahdollisuudet saattavat olla rajoitetut.

2.2.2 Simuloinnin haittoja ja haasteita

Simulointia käytettäessä voi olla haittapuolia, jotka tulisi ottaa huomioon (Robinson, 2014, s. 10). Näitä haittoja ovat muun muassa korkeat kustannukset, sillä simulointiohjelmistojen lisenssit voivat olla kalliita ja niiden käyttö saattaa lisätä tarvittavaa työmäärää. Lisäksi simulaation teko voi olla aikaa vievää, mikä lisää kokonaiskustannuksia ja tekee tulosten ja hyötyjen saavuttamisesta hitaampaa.

Simulaatiomallit vaativat usein suuren määrän dataa, jota ei aina ole saatavilla. Tämän lisäksi simulaatioiden tekeminen vaatii taitoja, joita ei välttämättä ole aina saatavilla, kuten konseptisuunnittelutaitoja, osaamista tilastojen keräämisessä ja projektinhallintataitoja (Sargent, 2013).

On myös tärkeää huomata, että simulaatioon voidaan luottaa liikaa. Tietokoneella tehdyllä simulaatiolla voidaan esittää grafiikkaa, jota voidaan helposti tulkita virheellisesti toimivamaksi kuin oikea järjestelmä. Tämän vuoksi mallin analysointi ja validointi on syytä suorittaa huolellisesti, unohtaen liialliset yksinkertaistamiset ja oletukset.

2.3 Digitaalinen kaksonen (digital twin)

Digitaalinen kaksonen tarkoittaa yksinkertaistettuna digitaalista esitysmallia oikeasta fyysisestä laitteistosta, ohjelmistokokonaisuutta, joka peilaa fyysistä esinettä, prosessia tai tuotekokonaisuutta (Stackpole, 2022). Digitaalisen kaksosen erottaa tavallisista simulaatioista reaaliaikainen yhteys ja reagointi laitteiston dataan. Mallinnusten koko voi vaihdella kokonaisuudesta tehtaasta tai varastosta yksittäiseen robotin osaan.

Digitaalisen kaksosen käsite on laaja ja voi tarkoittaa kyberfysikaalisia järjestelmiä, järjestelmän toimintakyvyn varmistamista, sen parantamista, analysointia ja fyysisen vastineensa tulevaisuuden ennustamista (Dietz ym., 2024). Digitaalinen kaksonen toimii laajana virtuaalisena esityksenä fyysisestä vastineestaan sen koko elinkaaren ajan. Se voi vaihtaa tietoja kaksisuuntaisesti keräämällä tietoa fyysiseltä vastineeltaan (esim. anturitiedot) ja lähettämällä takaisin tietoja (esim. kommentoja).

Digitaalinen kaksonen voi toimia useissa eri tiloissa, kuten reaaliaikaisessa seurannassa, simuloinnissa, ennakoivassa analytiikassa ja optimoinnissa (Dietz ym., 2024). Jokaisella toimintatilalla on oma tarkoituksensa, kuten järjestelmän nykyisen toiminnan ymmärtäminen tai suorituskyvyn ennustaminen ja suunnittelu. Digitaalisen kaksosen yksi käyttötapa on analyysi, jossa hyödynnetään reaali maailman tietoja fyysisen kohteen optimointiin, kuten ennakoivaan huoltoon. Simuloinnissa fyysinen vastine mallinnetaan virtuaalisesti ja sen toimintaa tutkitaan erilaisilla skenaarioilla ja parametreilla. Näin voidaan testata ongelmia ilman, että ne vaikuttavat fyysiseen kohteeseen.

Mallin tarkkuudella on paljon merkitystä, ja tarkkuuden määrittäminen sopivan kokoiseksi suunnittelussa tuottaakin usein haasteita. Mitä monimutkaisempi kokonaisuus on, sitä haastavampaa on sen mallintaminen (Koskinen, 2024). Kestävyysperiaatteet tukevat digi-

taalisen kaksosen käyttöä, sillä hiilijalanjälki pienenee, kun matkustaminen ja päästöt vähenevät (Stackpole, 2022). Materiaalien menekki vähenee myös, koska simulaatio vähentää tarvetta fyysisille prototyypeille ja turhalle työlle.

Digitaalinen kaksonen tukee myös myyntiä, sillä konetta voidaan esitellä asiakkaille jo ennen sen valmistumista (Stackpole, 2022). Tietyissä tapauksissa on jopa mahdollista käyttää virtuaalista konetta oikealla käyttöpaneelilla ja ohjausjärjestelmällä, mikä antaa realistisen käsityksen sen toiminnasta. Henkilöstön työskentelyolosuhteet paranevat, kun turhaa työtä ei tarvitse tehdä ja käyttöönottossa esiintyvät aikataulupaineet ja stressaavat työvaiheet vähenevät.

Digitaalisen kaksosen avulla voidaan tehdä konseptin validointia, joka on keskeinen osa simulaatiomallin kehitysprosessia. Tällöin varmistetaan, että mallin taustaoletukset ja teorit vastaavat todellisuutta ja ovat tarkoituksenmukaisia. (Sargent, 2013). Tämä vaihe voi vähentää virheitä, varmistaa mallin soveltuvuuden ja tunnistaa mahdolliset puutteet ennen ohjelmointia. Validointi on iteratiivinen prosessi, jossa hyödynnetään yleensä asiantuntijoiden arvioita ja järjestelmädataa.

2.4 Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen ja resursointi

Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen yrityksessä vaatii huolellista resursointia niin taloudellisesti kuin ajallisesti. Onnistunut toteutus edellyttää moniammatillista yhteistyötä, teknologista infrastruktuuria sekä selkeää projektinhallintaa. Resursointi edellyttää osaavaa henkilöstöä, jolla on riittävä ymmärrys sekä automaatiotekniikasta että digitaalisen mallinuksen menetelmistä. Usein tarvitaan eri alojen asiantuntijoita, kuten mekaniikkasuunnittelijoita, automaatioinsinöörejä ja ohjelmistoasiantuntijoita (Zheng ym., 2019). Yritykset voivat hyödyntää myös ulkopuolisia toimijoita ja teknologiatoimittajia, jotka tarjoavat valmiita alustoja, koulutusta ja tukea käyttöönottoon (Siemens, i.a.-h).

Toiseksi digitaalisen kaksosen kehittäminen edellyttää investointeja ohjelmistoihin ja laitteisiin. Esimerkiksi simulointialustat, kuten Siemens NX, Dassault Systèmesin 3DEXPERIENCE tai Rockwellin Emulate3D, vaativat lisensejä sekä integrointia olemassa oleviin

tuotantojärjestelmiin (Rosen ym., 2015). Lisäksi tiedonkeruu- ja integraatoratkaisujen, kuten IoT-sensoreiden ja ERP-järjestelmien, yhteensovittaminen on keskeistä toimivan digitaalisen kaksosen rakentamisessa.

On myös tärkeää varata riittävästi aikaa suunnitteluun, testaamiseen ja validointiin. Digitaalinen kaksonen ei ole pelkkä visuaalinen malli, vaan kokonaisvaltainen järjestelmä, joka vaatii iteratiivista kehitystyötä. On suositeltavaa laatia vaiheittainen projektisuunnitelma, jossa määritellään tavoitteet, aikataulu ja vastuunjako. Erityisesti pilotointivaiheessa kannattaa edetä rajatulla osa-alueella ja laajentaa toteutusta kokemusten perusteella.

Digitaalisen kaksosen toteuttaminen esimerkiksi Siemens NX:n Mechatronics Concept Designer (MCD) -ohjelmistolla edellyttää tehokasta tietokonelaitteistoa. Julkisten suositusten mukaan optimaalinen kokoonpano sisältää moniytimisen prosessorin (vähintään 3Ghz), vähintään 32 GB RAM-muistia, ammattitason näytönohjaimen (NVIDIA Quadro, NVIDIA GeForce RTX 4GB tai parempi) sekä nopean SSD-tallennuslevyn. Erityisesti MCD-moduulissa, jossa yhdistetään 3D-mallinnusta ja fysiikkapohjaisia simulaatioita reaaliajassa, korkea suorituskyky ja suuri muistimäärä ovat ratkaisevia sujuvan toiminnan varmistamiseksi. NX hyödyntää yhden ytimen suorituskykyä 3D-suunnittelussa ja moniytimistä suorituskykyä simulointi- ja renderöintitehtävissä (Vietbay, 2024).

Siemensin työkaluista NX MCD:n käyttö vaatii hyvän näytönohjaimen, sillä se käyttää aktiivisesti reaaliaikaista 3D-renderöintiä ja fysiikkasimulaatioita. Suurten teollisten järjestelmien mallinnuksessa voi olla tarpeen myös verkkoratkaisuja, jotta useat käyttäjät voivat käsitellä samaa digitaalista kaksosta. Siemens pitää myös kirjaa sertifioiduista eri valmistajien koneista ja komponenteista, jotka tukevat NX:än toimintaa (Siemens, 2025).

2.4.1 Ajalliset hyödyt

Ensimmäinen merkittävä hyöty on ajan säästö laitteen suunnittelussa ja käyttöönotossa (Stackpole, 2022). Esisuunnitteluvaiheessa voidaan löytää oikeat, toimivat ratkaisut ja vertailla erilaisia vaihtoehtoja ilman fyysisiä rajoitteita. Simulointiin voidaan sisällyttää käsiteltävien kappaleiden fysiikkamallinnus, mikä mahdollistaa niiden käyttäytymisen, kuten massan, painopisteen ja kitkan tarkastelun (Siemens, i.a.-a). Lisäksi tuotannon vaiheajoja ja

materiaalivirtaa voidaan analysoida, mikä auttaa optimoimaan prosesseja. Laitteen mekaaniset ongelmat voidaan tunnistaa ja korjata jo ennen laitteen valmistusta, mikä vähentää myöhempien ongelmien riskiä, koska kaikkea ei voida korjata automaatiojärjestelmällä. Yhteensopivuus tuotantolinjan muiden laitteiden kanssa voidaan myös varmistaa ajoissa (Stackpole, 2022).

Toinen merkittävä etu on se, että ongelmat tunnistetaan ajoissa. Simulointi auttaa välttämään väärin komponenttien hankkimisen, sillä se paljastaa ongelmia, joita ei välttämättä havaita ilman simulointimallia. Kun ongelmat havaitaan suunnitteluvaiheessa, voidaan välttyä tilanteelta, jossa käyttöpaikalle tarvitaan korvaavia komponentteja, mikä säästää aikaa ja kustannuksia (Stackpole, 2022).

Kolmanneksi digitaalinen kaksosen lyhentää laitteen sijoituspaikalla tehtävää käyttöönottoa. Virtuaalinen tehdastestaus voidaan suorittaa ennen varsinaista käyttöönottoa, mikä vähentää tarvetta matkapäiviin ja edestakaiseen matkustamiseen (Stackpole, 2022). Käyttöönotto toimistolla on edullisempaa, ja voidaan valmistella valmiit työkierrot etukäteen. Lisäksi suunnitteluvaiheen aikana voidaan tehdä rajaukset järjestelmän toiminnalle, mikä helpottaa avoimiin kysymyksiin ja lisävaatimuksiin vastaamista ilman, että aikaa käytetään epärealististen ratkaisujen yrittämiseen.

2.4.2 Turvallisuus

Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen automaatio suunnittelussa parantaa turvallisuutta monin tavoin (Ares, 2024). Simulointimallien avulla voidaan testata turvalogiikat ja suorittaa turva-alueiden testauksia virtuaalisesti ennen varsinaisia koeajoja, mikä vähentää riskejä. Lisäksi digitaalisten kaksosten avulla voidaan tunnistaa ja arvioida mahdollisia haavoittuvuuksia sekä testata erilaisia turvallisuusstrategioita virtuaalisessa ympäristössä, mikä mahdollistaa ennakoivan riskienhallinnan ja parantaa valmiutta todellisiin tilanteisiin. Virtuaalinen käyttöönotto mahdollistaa järjestelmien, kuten turvalogiikoiden testauksen ja validoinnin digitaalisessa ympäristössä ennen fyysistä toteutusta, mikä vähentää kalliiden virheiden riskiä ja nopeuttaa käyttöönottoa. Näin ollen digitaalisten kaksosten hyödyntäminen automaatio suunnittelussa edistää turvallisempien ja luotettavampien järjestelmien kehittämistä.

2.4.3 Testaus, koulutus ja tuki

Laitteen tai tuotantolinjaston käytönaikainen simulointi tarjoaa tehokkaan ja turvallisen tavan testata uusia työkiertoja sekä tuotteiden valmistusprosesseja (Stackpole, 2022). Simulointia voidaan hyödyntää jo ennen fyysisten laitteiden käyttöönottoa, jolloin mahdolliset prosessihäiriöt, pullonkaulat tai optimointitarpeet voidaan havaita varhaisessa vaiheessa. Simulointimallin avulla voidaan myös arvioida modernisointien vaikutuksia, kuten uusien koneiden, robottien tai järjestelmien integroimista olemassa olevaan tuotantolinjaan. Tämä vähentää käyttökatkosten riskiä ja tukee suunnittelun päätöksentekoa faktoihin perustuen. Esimerkiksi vaihtoehtoisten automaatiokomponenttien, kuten antureiden, taajuusmuuttajien ja moottorien testaus, viritys ja ohjelmointi voidaan tehdä digitaalisessa ympäristössä ennen lopullista asennusta.

Simulointia voidaan hyödyntää myös henkilöstön kouluttamisessa. Käyttöhenkilöstö ja huoltoteknikot voivat opetella järjestelmän toimintaperiaatteet ja käyttöliittymät ilman fyysistä laitteistoa, ja se parantaa turvallisuutta. Simulointimalli toimii tällöin interaktiivisena koulutuslajustana, jonka avulla voidaan harjoitella vikatilanteita, säätötoimenpiteitä ja prosessin ohjausta. Lisäksi simulointi tarjoaa työkalun teknisen tuen ja etädiagnostiikan tueksi. Vikatilanteita voidaan mallintaa ja analysoida etukäteen.

2.5 Simulointi ja ohjelmistokehitys pilvipalveluissa

Pilvipalveluita hyödyntämällä voidaan luoda uusia palveluita, sovelluksia tai laskentaresursseja nopeasti tekemättä laitehankintoja tai muutoksia laitteistoon (Rehman, 2018, s. 27). Pilvipalvelu voidaan kustomoida yrityksen tarpeen mukaan tarjoamaan automatisoituja palveluita, kuten virtuaalikoneita.

Pilvipalveluiden käyttö tarjoaa seuraavia hyötyjä (Rehman, 2018):

- Varmuuskopiointi ja palautus: Kun kaikki data tallennetaan pilvipalveluun, sen varmuuskopiointi ja palautus on helpompaa, kuin laitteistoon tallennus. Varmuuskopiointin ja kopioiden palauttamisen prosessi helpottuu.

- Automaattinen ohjelmistointegraatio: Käyttöjärjestelmän ja siihen kuuluvien tai asennettavien ohjelmistojen integraatio tapahtuu yleensä automaattisesti pilvipalvelussa. Käyttäjän ei tarvitse muokata itse käyttöjärjestelmää.
- Helppo pääsy informaatioon: Käyttäjät voivat rekisteröityä palveluun ja saada pääsyn mistä tahansa internet-yhteyden kautta, jolloin sijainnilla tai aikavyöhykkeellä ei ole merkitystä.
- Nopea käynnistys: Pilvipalvelut mahdollistavat nopean käynnistyksen. Laajakin järjestelmä saadaan käyntiin nopeasti.
- Skaalautuvuus: Yritys voi muuttaa palveluiden kokoa tai tehokkuutta asiakkaan vaatimusten mukaan. Yrityksen ei tarvitse tehdä kalliita laitehankintoja, vaan palvelu voi tarjota tehokkaampaa laskentaa, joka säästää myös aikaa.

2.6 Virtuaalikoneet pilvipalveluna

Virtuaalikoneiden käyttö verkkopalveluiden kautta auttaa luomaan uusia tasoja laitteiston, käyttöjärjestelmän ja ohjelmiston välille (Rehman, 2018, s. 32). Koneiden virtualisaatio helpottaa vähentämään IT-resurssien käytön määrää, ja siitä voi lisäksi olla seuraavanlaisia hyötyjä (Rehman, 2018, s. 27):

- Saatavuus ja luotettavuus: Yhden virtuaalikoneen mahdolliset ohjelmistoviat eivät vaikuta muihin virtuaalikoneisiin.
- Turvallisuus: Koneiden turvavaatimuksia voidaan jakaa eri tasoihin ja eristää, jolloin hyökkäykset tiettyihin koneisiin eivät vaikuta muihin.
- Hinta: Voidaan säästää laitteistokustannuksissa, henkilökunnan tarpeessa, tarvittavassa lisenssien määrässä ja pinta-alaa tarvitaan vähemmän.
- Muuntautuvuus: Tarvittaessa virtuaalikoneen tehoa voidaan kasvattaa resurssien vaativuuden mukaiseksi.
- Tasapainotus: Eristettyjä virtuaalikoneita voidaan yhdistää eri alustojen välillä, joka auttaa lisäämään suorituskykyä.

2.7 Simuloinnissa käytettäviä ohjelmistoja ja menetelmiä

Nykyaikaisessa teollisuusautomaation kentässä on tärkeää, että eri järjestelmät ja laitteet voivat kommunikoida keskenään saumattomasti. Tämä vaatimus on tärkeä, kun pyritään integroimaan eri valmistajien laitteita ja ohjelmistoja, jolloin tiedon siirto ja protokollat tulevat keskiöön. Tässä yhteydessä REST-palvelimet, OPC UA -protokolla ja Beckhoff Twin-Cat 3 -järjestelmät tarjoavat tehokkaita ratkaisuja, jotka mahdollistavat yhteensopivuuden ja tiedonsiirron eri järjestelmien välillä (Mahmoud & Zribi, 2017).

2.7.1 Rest -palvelin, kommunikaatio TIA Portalin kanssa

REST-palvelin mahdollistaa asiakasohjelmien ja järjestelmien välisen kommunikoinnin HTTP-protokollan kautta. Se käyttää yleisiä HTTP-menetelmiä, kuten POST, GET, PUT ja DELETE, resurssien hakemiseen, muokkaamiseen ja poistamiseen. RESTful-arkkitehtuuri perustuu tilattomuuteen, mikä tekee palvelusta skaalautuvan ja tehokkaan. Kommunikointi tapahtuu yleensä JSON- tai XML-muodossa, ja se soveltuu hyvin hajautettuihin järjestelmiin sekä IoT-ratkaisuihin.

TIA Portal mahdollistaa REST-palvelimen liittämisen hyödyntämällä Open User Communication (OUC) -toimintoja tai Node-RED-integraatiota (Siemens, i.a.-i). REST API -rajapintoihin voidaan muodostaa yhteys esimerkiksi S7-1500-sarjan PLC:llä käyttämällä HTTP-komentoja ja WebSocket-yhteyksiä. Kommunikaatio tapahtuu yleensä JSON-muodossa, ja tietoa voidaan lähettää tai hakea REST-palvelimelta skriptien ja ohjelmallisten HTTP-pyyntöjen avulla. Tämä mahdollistaa tiedonvaihdon pilvipalvelujen, IoT-laitteiden ja muiden IT-järjestelmien kanssa. Myös simuloitua PLC:tä voidaan käyttää API-kommunikointiin, jos PLCSIM Advanced on käytettävissä (Siemens, i.a.-e).

2.7.2 OPC UA

OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) on valmistajariippumaton, hajautettuun järjestelmäarkkitehtuuriin perustuva tiedonsiirtoprotokolla (OPC Foundation, 2024). Se tarjoaa skaalautuvan, tietoturvallisen ja standardoidun väylän eri automaatio- ja IT-järjestelmien väliseen kommunikointiin. OPC-palvelin voidaan määritellä ja käynnistää

esimerkiksi TwinCAT 3 -ohjelmistossa (Beckhoff Automation, i.a). Siemens NX:n ja PLC-ohjauksen yhdistäminen OPC UA:n avulla mahdollistaa simulointitietojen reaaliaikaisen vaihdon logiikkaohjauksen kanssa.

2.7.3 Beckhoff TwinCAT 3

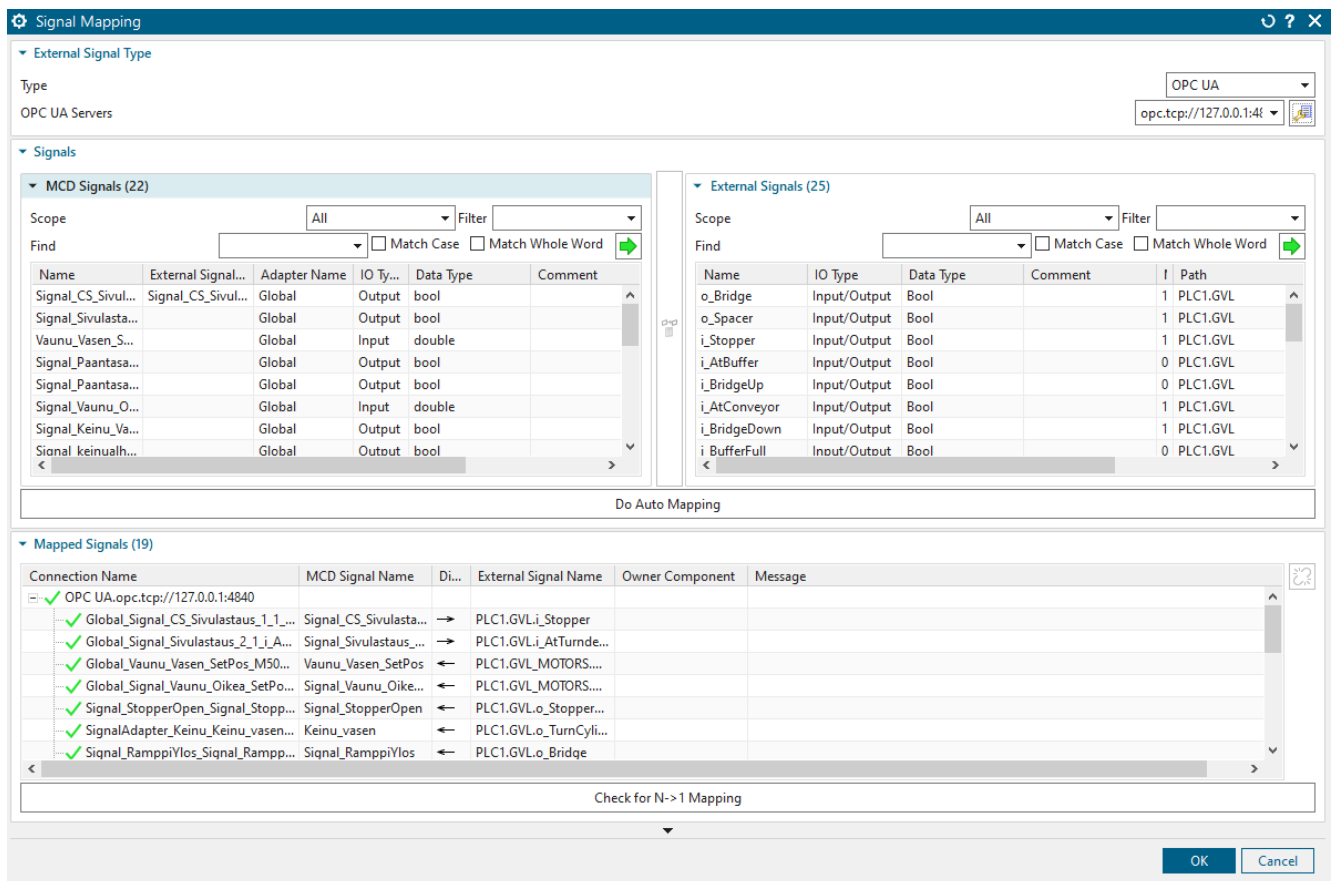
Beckhoff TwinCAT 3 (The Windows Control and Automation Technology) on ohjelmistoalusta, joka muuttaa tavallisen Windows-PC:n tehokkaaksi PLC-, NC- ja CNC-ohjausjärjestelmäksi. Se tukee klassista ohjelmoitavaa logiikkaohjelmointia (IEC 61131-3) sekä moderneja kieliä, kuten C/C++, mahdollistaen joustavan automaatio suunnittelun (Beckhoff Automation, 2023). TwinCAT 3 mahdollistaa objekti- ja komponenttipohjaisen ohjelmoinnin, mikä tekee siitä skaalautuvan ja monipuolisen alustan erityisesti kone- ja laitevalmistukseen. Lisäksi se sisältää laajan valikoiman rajapintoja, kuten OPC UA, ADS ja MQTT, joiden avulla ohjelmisto voidaan liittää helposti muihin järjestelmiin, esimerkiksi Siemens NX:ään tai SIMITiin (Beckhoff Automation, 2023). TwinCAT 3:ssa voidaan aktivoida myös OPC UA -palvelinmoduuli (TF6100), jonka avulla ulkoiset järjestelmät voivat turvallisesti kommunikoida logiikan kanssa OPC UA -standardin mukaisesti.

2.8 OPC UA -pohjaisen simuloinnin ja TIA Portal -integraation vertailu Siemens NX -ympäristössä

Tässä luvussa tarkastellaan, miten Siemens NX -integraatio voidaan toteuttaa avoimen OPC UA -standardin avulla yhdistettynä Beckhoff TwinCAT 3 -logiikkaohjaukseen. Luvussa verrataan myös, mitä eroavaisuuksia siinä on verrattuna NX-liitäntään Siemensin omien natiivien työkalujen kautta.

OPC UA mahdollistaa integraation myös muiden valmistajien automaatiojärjestelmiin, kuten Beckhoffin, Rockwellin tai Schneider Electricin logiikoihin, mikä tekee siitä erittäin joustavan ratkaisun eri ympäristöihin (Noga, M. ym. 2022). Protokolla tukee kompleksisia tietorakenteita ja sisältää sisäänrakennetun autentikoinnin ja salauksen, mikä tekee siitä turvallisen vaihtoehdon tiedonsiirtoon. Se soveltuu erityisesti monen valmistajan laitteita ja ohjelmistoja yhdistäviin ympäristöihin tarjoten näin laajaa yhteensopivuutta ja skaalautuvuutta.

OPC UA -pohjaisen järjestelmän konfigurointi voi olla monimutkaista, sillä se vaatii OPC UA -serverien ja -asiakkaiden (client) määrittelyn sekä sovittamisen yhteiseen tietomalliin. Lisäksi kommunikaatioviiveet voivat vaikuttaa simulaation tarkkuuteen erityisesti nopeissa säätösilmukoissa, mikä on otettava huomioon automaatio suunnittelussa. Beckhoffin TwinCAT 3 -järjestelmä sisältää natiivin OPC UA -palvelimen, joka mahdollistaa standardoidun, reaaliaikaisen datanvaihdon ulkoisten sovellusten, kuten Siemens NX:n, kanssa. Tämä tekee Beckhoffista erityisen sopivan vaihtoehdon monitoimittajaympäristöihin. OPC UA -palvelin sisältyy TwinCAT-järjestelmään eikä vaadi erillisiä komponentteja. Kuviossa 1 on NX MCD:n Signal Mapping -näkyvä, johon on tehty PLC-osoitteiden linkitys NX: MCD:n signaaleihin. Alemmassa Mapped Signals -ikkunassa näkyy signaalien kulkusuunnat, joka erottaa tulo- ja lähtösignaalit toisistaan.



Kuvio 1. OPC-palvelimen kautta kulkevat signaalit Siemens NX:n Signal Mapping -näky-mässä.

Siemens tarjoaa NX-ohjelmiston Mechatronics Concept Designer (MCD) -moduulin kautta natiivin liitännän TIA Portaliin (Siemens, i.a.-j). Tämän integraation avulla voidaan toteuttaa

saumattomia digitaalisen kaksosen ratkaisuja, joissa TIA Portalissa luotu PLC-ohjelma ohjaa suoraan NX:ssä mallinnettua järjestelmää. Natiiviliitännällä tarkoitetaan valmistajan omien ohjelmistojen välistä suoraa yhteyttä, joka ei vaadi erillisiä rajapintoja tai standardiprotokollia, kuten OPC UA:ta. Tämä mahdollistaa tehokkaan ja tiiviin integraation ohjelmistojen välillä.

Natiiviliitännä mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonsiirron, mikä takaa tarkasti synkronoidun simuloinnin ilman ylimääräisiä välikerroksia. Siemensin työkalujen välinen integraatio on suoraviivaista ja myös hyvin dokumentoitua, mikä tukee yhtenäisen kehitysympäristön rakentamista. Tämä liitännä toimii vain Siemensin järjestelmäkokonaisuuksissa, mikä rajoittaa sen käyttöä muissa ympäristöissä ja vähentää joustavuutta. Taulukossa 1 tarkastellaan, millaisia eroavaisuuksia TwinCAT 3-NX liitoksen rakentamisessa on verrattuna TIA Portal-NX tehtävään liitokseen.

Taulukko 1. Vertailu Beckhoff-NX liitoksen ja TIA Portal-NX liitoksen välillä.

Ominaisuus	NX+OPC UA	NX+TIA Portal (Natiivi)
Valmistajariippumattomuus	Kyllä (mm. Beckhoff, Rockwell)	Ei
Integraation helppous	Hyvä Beckhoffin kanssa	Erittäin hyvä Siemensin sisäisesti
Automaattinen integrointi	Ei	Kyllä, osittain
Reaaliaikaisuus	Hyvä, verkko- ja sovelluskohtainen	Erinomainen
Laajennettavuus	Korkea	Rajoitettu Siemens-ekosysteemiin
Tietoturva	Sisäänrakennettu OPC UA:ssa	Riippuu toteutuksesta
Soveltuvuus	Monitoimittajaympäristöt	Siemens-keskeiset ratkaisut

OPC UA:n ja Siemensin natiiviliitännän välinen valinta riippuu järjestelmän rakenteesta ja käyttötarkoituksesta. OPC UA tarjoaa skaalautuvan ja valmistajariippumattoman lähestymistavan, joka soveltuu erityisesti monitoimittajaympäristöihin. TwinCat 3 tarvitsee aina toimiakseen TC3 OPC-UA lisenssin aktivoinnin, jonka trial-versiota on kuitenkin ilmaista käyttää. TwinCAT-NX-liitännää tehtäessä täytyy tehdä enemmän manuaalista työtä, kuten PLC-tagien liittäminen simulaatiomalliin. Tiettyjä lisäosia SIMIT-ohjelmistoon on kuitenkin saatavilla helpottamaan työtä, kuten ADS-Interfacea käyttävä TwinCAT Coupling (Siemens i.a.-g). TwinCAT Coupling -lisäosalla voidaan hakea automaattisesti TwinCAT3 -projektin PLC-osoitteisto SIMIT-projektiin.

Sen sijaan Siemensin natiivi-integraatio tarjoaa saumattoman ja tehokkaan ratkaisun, kun koko automaatiojärjestelmä perustuu Siemensin tuotteisiin ja automaattisia integraatiotoimintoja on saatavilla enemmän. Molempien ratkaisujen tuntemus on keskeistä digitaalisten kaksosten toteutuksen suunnittelussa ja arvioinnissa. Verrattuna muihin järjestelmiin Siemensin ohjelmistojen käyttöön liittyy usein enemmän lisensointikustannuksia, mikä voi nostaa järjestelmän kokonaiskustannuksia merkittävästi. Siemens NX:n lisensointimallit tarjoavat yrityksille mahdollisuuden valita kustannustehokkain ja tarpeisiin parhaiten sopiva vaihtoehto (Siemens, (2024b). Perinteiset lisensointimallit sopivat yrityksille, joilla on jatkuva tarve tietyille ominaisuuksille, kun taas token-pohjainen lisensointi tarjoaa joustavuutta ja kustannussäästöjä yrityksille, joilla on vaihteleva tarve erilaisille lisämoduuleille. Digitaalisten kaksosten kehityksessä, jossa tarvitaan laaja valikoima työkaluja eri vaiheissa, token-pohjainen lisensointi voi tarjota merkittäviä etuja. Se mahdollistaa nopean reagoinnin muuttuviin tarpeisiin ilman suuria lisensointikustannuksia, mikä tekee siitä houkuttelevan vaihtoehdon monille yrityksille. Yritysten tulisi arvioida omat tarpeensa ja käyttöprofiilinsa huolellisesti valitessaan sopivinta lisensointimallia Siemens NX -ohjelmistolle. Oikein valittu lisensointimalli voi tuoda merkittäviä säästöjä ja parantaa tehokkuutta digitaalisten kaksosten kehityksessä.

3 SIEMENSIN OHJELMISTOT

Siemensin tarjoamat työkalut tukevat digitaalisen kaksosen koko elinkaarta, aina mekaanisesta suunnittelusta ja automaatiosta järjestelmien simulointiin ja tiedonsiirtoon. Tässä luvussa esitellään keskeisimmät Siemensin ohjelmistot ja menetelmät, joita käytetään simulaattoriratkaisujen kehittämisessä. Tavoitteena on antaa kokonaiskuva siitä, miten nämä työkalut toimivat yhdessä simulaatioiden kanssa ja mahdollistavat tehokkaan virtuaalisen kehitysympäristön.

3.1 WinCC Unified, HMI-simulointi

WinCC Unified on Siemensin moderni HMI- ja SCADA-ratkaisu, joka on integroitu osaksi TIA Portalia (Siemens, 2024c). Sen avulla voidaan suunnitella ja toteuttaa verkkopohjaisia käyttöliittymiä, jotka tukevat reaaliaikaista tietojen seuranta ja hallintaa. WinCC Unified tarjoaa HTML5-tekniikkaan perustuvan käyttöliittymän, mikä mahdollistaa sovellusten käytön selaimella eri laitteilla ilman erillistä ohjelmistoasennusta. TIA Portal sisältää WinCC Unifiedin simulaatiotyökalut, joiden avulla HMI-järjestelmää voidaan testata virtuaalisesti ennen tuotantoon siirtämistä. Tämä simulointi parantaa käyttöliittymän ja tiedonsiirron luotettavuutta. Lisäksi WinCC Unified integroituu sujuvasti TIA Portalin muiden työkalujen, kuten PLC-ohjauksen kanssa, mahdollistaen koko järjestelmän kattavan testauksen yhtenäisessä ympäristössä.

3.2 Siemens S7-PLCSIM Advanced

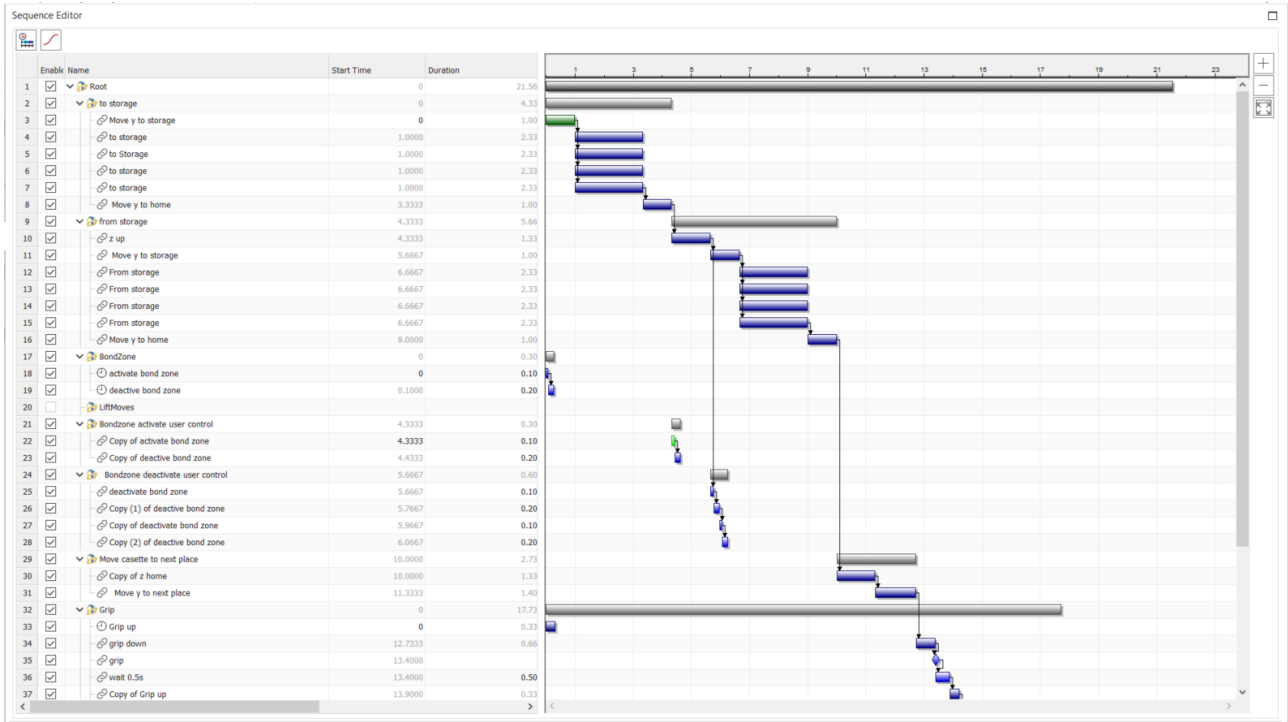
S7-PLCSIM Advanced on Siemensin edistynyt PLC-simulaattori, joka mahdollistaa ohjelmiston ja laitteiston vuorovaikutuksen simuloinnin sekä monimutkaisten järjestelmien tarkan testauksen (Siemens, i.a.-d). Se tukee useiden ohjainten samanaikaista simulointia ja mahdollistaa tiedonsiirron testauksen eri laitteiden välillä PROFINET- ja PROFIBUS-kommunikaatioprotokollien avulla.

3.3 Siemens NX ja Mechatronics Concept Designer

Siemens NX on mekaniikkasuunnitteluohjelmisto, jonka avulla voidaan suunnitella ja simuloida mekaniikkaa (Siemens, i.a.-a). Siemens NX on kattava mekaniikkasuunnitteluohjelmisto, joka mahdollistaa suuren osan tuotteen elinkaareen liittyvän suunnittelusta ja optimoinnista yhdellä alustalla. Ohjelmisto tukee edistynyttä simulointia ja integroituu helposti digitaaliseen kaksoseen, mikä on olennaista nykyaikaisessa automaatio suunnittelussa

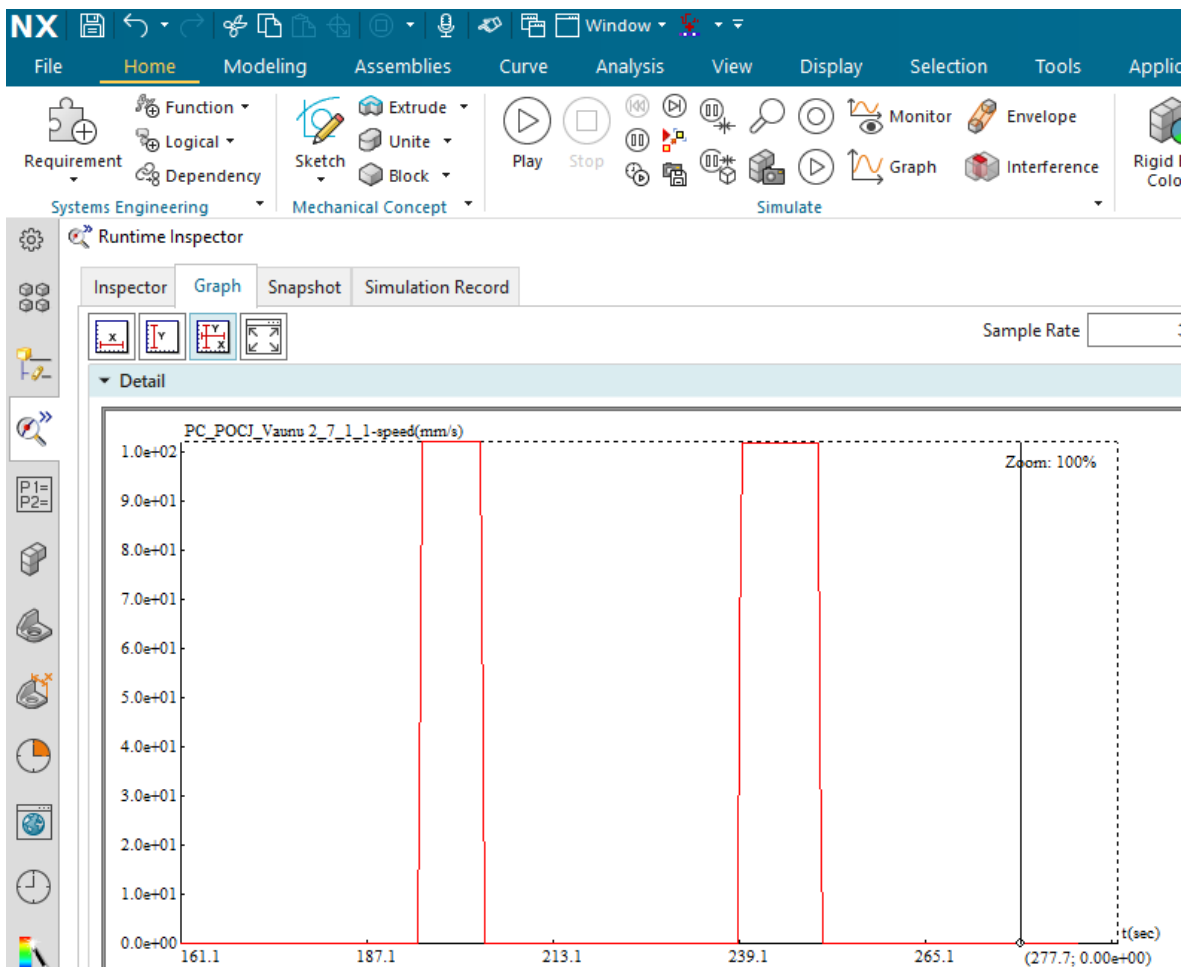
Lisäosana toimiva Mechatronics Concept Designer (MCD) on edistynyt simulaatiotyökalu, jota käytetään mekaanisten toimintojen ja automaation simulointiin (Siemens, i.a.-c). Siemens NX ja MCD ovat täysin yhteensopivia TIA Portal -ohjelmiston kanssa, mikä mahdollistaa sujuvan tiedonsiirron suunnittelu- ja tuotantoympäristön välillä. Lisäosana toimiva Mechatronics Concept Designer (MCD) laajentaa Siemens NX:n ominaisuuksia, tuoden mukanaan työkaluja erityisesti mekatronisten järjestelmien simulointiin ja validointiin. MCD:n avulla suunnittelijat voivat mallintaa fyysisen järjestelmän virtuaalisesti, yhdistämällä mekaniikan, elektroniikan ja automaation yhden järjestelmän sisällä. Tämä mahdollistaa laitteistojen tarkemman suunnittelun ja simuloinnin ennen fyysisen prototyypin rakentamista.

Siemens NX:n Mechatronics Concept Designer (MCD) -työkalun avulla voidaan luoda ja simuloida ohjelmoituja toimintoja, jotka suorittavat tiettyjä tehtäviä määritellyssä ajassa (Siemens, 2021). Nämä toiminnot voidaan järjestää sekvensseiksi, jotka vastaavat PLC-ohjelman logiikkaa, mahdollistaen tuotantoprosessien testaamisen ja optimoinnin virtuaalisessa ympäristössä. Sequence Editorin avulla voidaan graafisesti määritellä ja hallita koneen tai laitteen toimintasekvenssejä. Tämä mahdollistaa esimerkiksi manipulaattorin liikkeiden, kuljettimien käynnistyksen ja pysäytyksen sekä anturien ja toimilaitteiden vuorovaihtuksen tarkastelun ja testauksen virtuaalisessa ympäristössä. Toimintojen järjestäminen ja ajastaminen tapahtuu graafisessa käyttöliittymässä, joten esimerkiksi konseptisuunnittelun vaiheessa ei vielä ole tarvetta perinteiselle koodaukselle. Kuviossa 2 näkyy NX Mechatronics Concept Designerin Sequence Editor -näkyvä, jossa näkyvät määritellyt toimintasekvenssit ja niiden ajastus. Toimintoja voidaan linkittää toisiinsa, jolloin ne suoritetaan sekvenssijärjestyksen mukaisesti.



Kuvio 2. NX MCD:n Sequence editor -sekvenssieditori.

MCD:ssä on integroituna Graph-työkalu, jolla voidaan tarkastella simulaation aikaisia arvoja visuaalisesti. Graphin avulla käyttäjä voi seurata haluttuja muuttujia, kuten komponenttien liikenopeuksia, kiihtyvyyksiä tai voimia, reaaliaikaisesti tai jälkikäteen simulaation aikana kerätyn datan perusteella. Tämä mahdollistaa yksityiskohtaisen analyysin esimerkiksi koneen toiminnasta, liikkeiden sujuvuudesta tai kuormitushuipuista. Työkalu tukee digitaalisen kaksosen kehittämistä tarjoamalla tärkeää tietoa suunnitteluratkaisujen toimivuudesta jo ennen fyysisten prototyyppien rakentamista. Kuviossa 3 nähdään asiakkaalle toteutetussa simulaatiossa servomoottorin kiihtyvyykäyriä. Kyseisessä simulaatiossa haluttiin todentaa maksimikiihtyvyyksiä sekä kappaleen käyttäytymistä prototyyppikoneessa mekaniikkamallin avulla.



Kuvio 3. Kiihdytyskäyrä kuvattuna NX:ssä, jota on ohjattu simuloitulla Twincat -logiikalla.

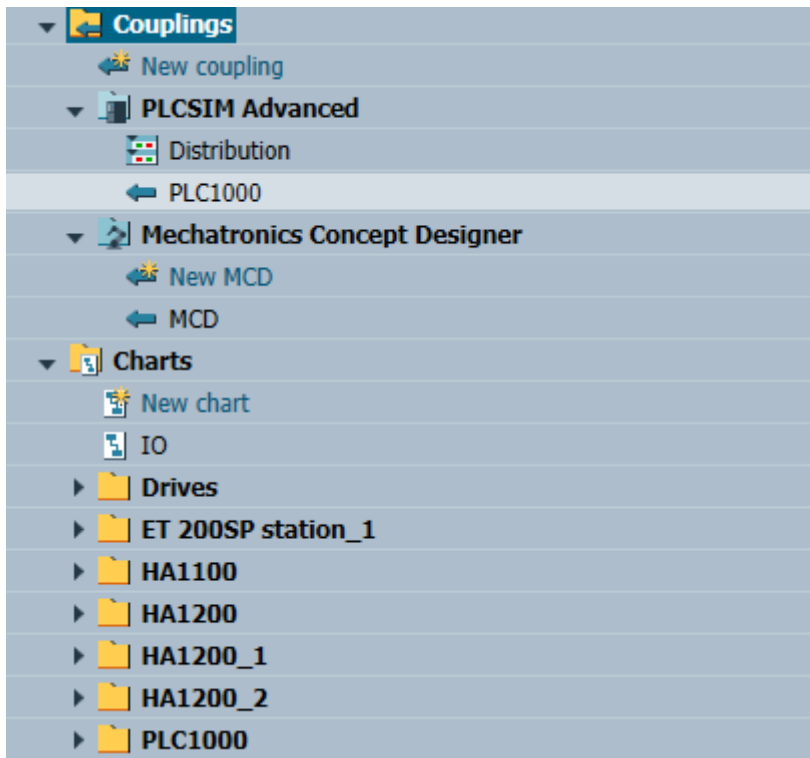
Osana tätä kokonaisuutta on saatavilla myös kevyempi NX MCD Player -versio, jonka avulla simulaatioita voidaan käynnistää ja toistaa ilman täyttä NX-suunnittelu ympäristöä (Siemens i.a.-e). MCD Player soveltuu erityisesti tuotannon testaamiseen, esittelytilanteisiin sekä henkilöstön koulutukseen. Sen avulla voidaan tarkastella valmiiksi luotuja simulaatiomalleja, esimerkiksi tuotantolinjan toimintaa tai yksittäisten komponenttien liikkeitä. Ohjelmisto mahdollistaa simulaation seuraamisen reaaliaikaisesti, mutta ei tarjoa mahdollisuutta muokata malleja tai simulaation logiikkaa, sillä tämä ominaisuus on varattu täysversiolle.

Tämä kevyempi versio on hyödyllinen tilanteissa, joissa laitteistoa esitellään sidosryhmille, asiakkaille tai tuotannon työntekijöille, jotka eivät itse osallistu suunnitteluun. Se mahdollistaa visuaalisen tarkastelun ja toiminnan seuraamisen ilman, että käyttäjällä on riskiä tehdä muutoksia alkuperäisiin tiedostoihin.

3.4 SIMIT

SIMITiä voidaan käyttää tuotantolinjan, laitteiden signaalien ja automaatio-ohjelmiston testaukseen ja käyttöönottoon (Siemens, 2024a). Simulaatio voidaan luoda elementeistä, kuten Charteista, Couplingeista ja visualisoinneista. Siemens SIMIT on virtuaalinen simulaatioympäristö, joka mahdollistaa automaatiojärjestelmän realistisen simuloinnin ja ennakoivan testauksen. Se tukee prosessien, antureiden ja toimilaitteiden simulointia ilman fyysisiä komponentteja, integroituu suoraan TIA Portaliin ja mahdollistaa vikatilanteiden simuloinnin järjestelmän luotettavuuden parantamiseksi.

Chartit ovat sivuja, jonne luodaan ohjattavia simulointimalleja. Sivuihin voidaan lisätä komponentteja SIMITin kirjastoista. Komponentit voivat olla simuloitavia toimilaitteita, kaavoja tai matemaattisia lausekkeita. Visualisaatioita voidaan koota graafisista objekteista. Ne antavat yleiskuvan signaaleista. SIMITiin voidaan luoda yhteyksiä muihin sovelluksiin, joita kutsutaan Couplingeiksi. Couplingit tarkoittavat rajapintaa esimerkiksi automaatio-ohjelmiston, toimilaitteiden, OPC UA-liitännän tai simuloitavan mekaniikkamallin välillä. Ne toimivat input- ja output -signaalien välittäjinä sekä mahdollistavat niiden koordinaation. Kuviossa 4 on SIMIT-projektipuu, johon on lisätty PLCSIM Advanced sekä Mechatronics Concept Designer.



Kuvio 4. SIMITiin liitetyt Couplingit.

3.5 Siemens TIA Portal

TIA Portal (Totally Integrated Automation) on Siemensin automaatio suunnitteluohjelmisto, joka yhdistää ohjelmointiympäristö STEP7:n, käyttöliittymän suunnitteluohjelma WinCC:n sekä liikkeenohjausten käyttöönotto-ohjelman StartDriven (Siemens, i.a.-b). TIA Portalin yhteensopivuus simulaatio sovellusten kanssa mahdollistaa koko projektin simuloinnin. Suorat liittynät simulointiohjelmistoihin helpottavat projektin toteutusta. TIA Portal tukee digitaalisen kaksosen hyödyntämistä tarjoamalla rajapintoja, joiden avulla ohjauslogiikkaa, käyttöliittymiä ja jopa koneiden liikkeenohjausta voidaan testata virtuaalisessa ympäristössä (Siemens, 2024a).

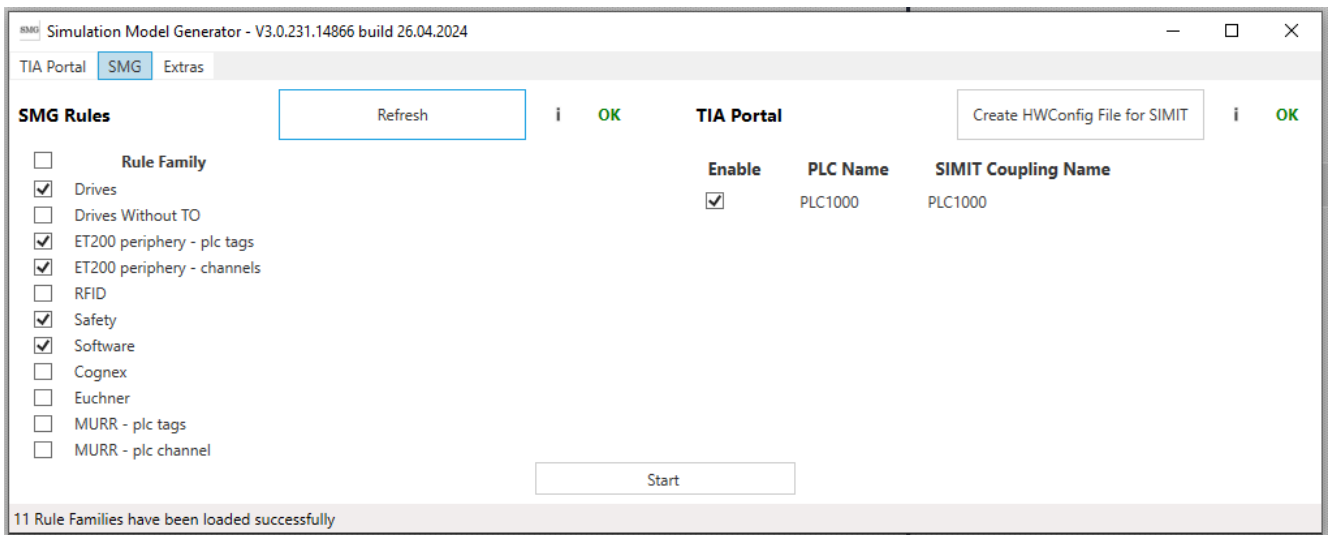
3.6 Simulation Model Generator (SMG)

Simulation Model Generator (SMG) -työkalu mahdollistaa SIMIT-simulaatiomallin automaattisen luomisen hyödyntämällä aiemmin luotua TIA Portal -projektin tietoa (Siemens i.a.-f). SMG:ssä käytetään sääntöpohjaista lähestymistapaa, joka tarjoaa joustavamman

tavan lisätä generointisisältöä. SMG auttaa tekemään PLCSIM Advancedin ja SIMITin yhdistelmän. Haluttu TIA Portal -projekti avataan ja valitaan SMG:ssä, jolloin se yhdistyy automaattisesti. SIMITiin voidaan viedä kenttälaitteiden (kuten moottoriohjaimien tai hajautettujen laitteiden, esim. F-DI) toimintaa ja kommunikointirakennetta.

Automaattinen generointi auttaa välttämään virheitä, joita voi syntyä manuaalisessa mallinnuksessa. SMG sisältää laajan laitetuen (noin 80 valmista mallipohjaa). Simulaatiomallin pystyttämiseen kuluvan ajan lyhenee. SMG-versio 3 perustuu SIMIT-mallipohjiin, mikä mahdollistaa simulaatiomallien massatuonnin sekä olemassa olevien mallien muokkaamisen tai uusien luomisen. SMG hyödyntää sääntöpohjaista analyysiä TIA Portal -projektin tietojen keräämiseksi. Projektin sisältöä voidaan tarkastella standardoitujen komentojen avulla. Tämä lähestymistapa mahdollistaa myös SMG:n nopean laajentamisen uusien laitteiden tukemiseksi. Lisäksi komentoja voidaan laajentaa C#-plugin-ratkaisuilla, mikä parantaa työkalun joustavuutta.

Kuviossa 5 näkyy SMG Rules -valintaruudut, jotka tarkoittavat sääntöjä, joissa valikoidaan, mitä sisältöä yhdistetyn TIA Portal:in projektin sisällöstä viedään SIMIT -projektiin. Valinnat sisältävät konfiguroituja taajuusmuuttajia, hajautuskortteja, turvalaitteistoa, PLC-osoitteistoa tai muiden valmistajien laitteita.



Kuvio 5. Simulation Model Generatorin näkymä.

SMG:n kehitys heijastaa teollisen automaation trendiä kohti Model-Based Engineering (MBE) -metodologiaa, jossa järjestelmien suunnittelu ja testaus virtualisoidaan. Sääntöpohjainen generointi nopeuttaa digitaalisten kaksosten luomista ja vähentää manuaalisen koodauksen ja laitteiston valikoimisen virhealttiutta.

4 PROJEKTIN JA SIMULOINNIN TOTEUTUS

Tässä luvussa käsitellään projektin tavoitteita, joissa asiakkaan toiveena oli manipulaattorirobotti- ja välivarastointijärjestelmän integrointi tuotantolinjan loppupäähän. Erityisesti painotetaan simulaation roolia järjestelmän suunnittelussa ja testauksessa, sillä simulointityökalut mahdollistivat automaatio- ja mekaniikkasuunnittelun tarkastelun ennen käytännön toteutusta. Luvussa kuvataan myös simulaation hyödyntämistä eri järjestelmäkomponenttien, kuten moottorihjausten ja turvatoimilaitteiden, testaamisessa sekä esikokoonpanon ja esikäyttöönnoton vaiheita ennen lopullista käyttöönottoa loppuasiakkaan tuotantoympäristössä.

4.1 Asiakkaan tavoitteet projektille

Asiakkaan toiveena oli tuotantolinjaston loppupäähän sijoittuva manipulaattorirobotti- ja välivarastointijärjestelmä, jolla käsitellään pakattavia paletteja. Paletteihin kerätään tuotannossa tehtävää lopputuotetta. Paletteihin pakataan operaattorien toimesta metallikappaleita, ja valmiit paletit kuitataan liikkumaan kuljetinta pitkin koneelle, joka käärii paletin toimitusta varten halutulla reseptillä. Manipulaattori ja kuljettimet tekevät palettien siirtoja. Puolivalmiit paletit, joihin tulee vielä lisää tuotetta pakattavaksi tuotteen vaihdon jälkeen, kuitataan manipulaattorin nostettaviksi välivarastoon. Manipulaattori tekee tarvittavat nostot paleteille pakkauksen sujuvoittamiseksi. Laitteiston viereiselle alueelle suunniteltiin lisätyönä projektin myöhemmässä vaiheessa toinen manipulaattori ja kuljetinjärjestelmä, joka käsittelee tyhjiä paletteja ja niiden tuontia tuotantoalueelle.

4.2 Järjestelmän esittely

Järjestelmään kuului kuljettimia ja manipulaattori, jotka käsitelivät kappaletavaraa, sekä välivarasto, joka tehtiin lopputuotteiden logistiikan helpottamista varten. Laitteisto sijoittui tuotantolinjan loppupäähän.

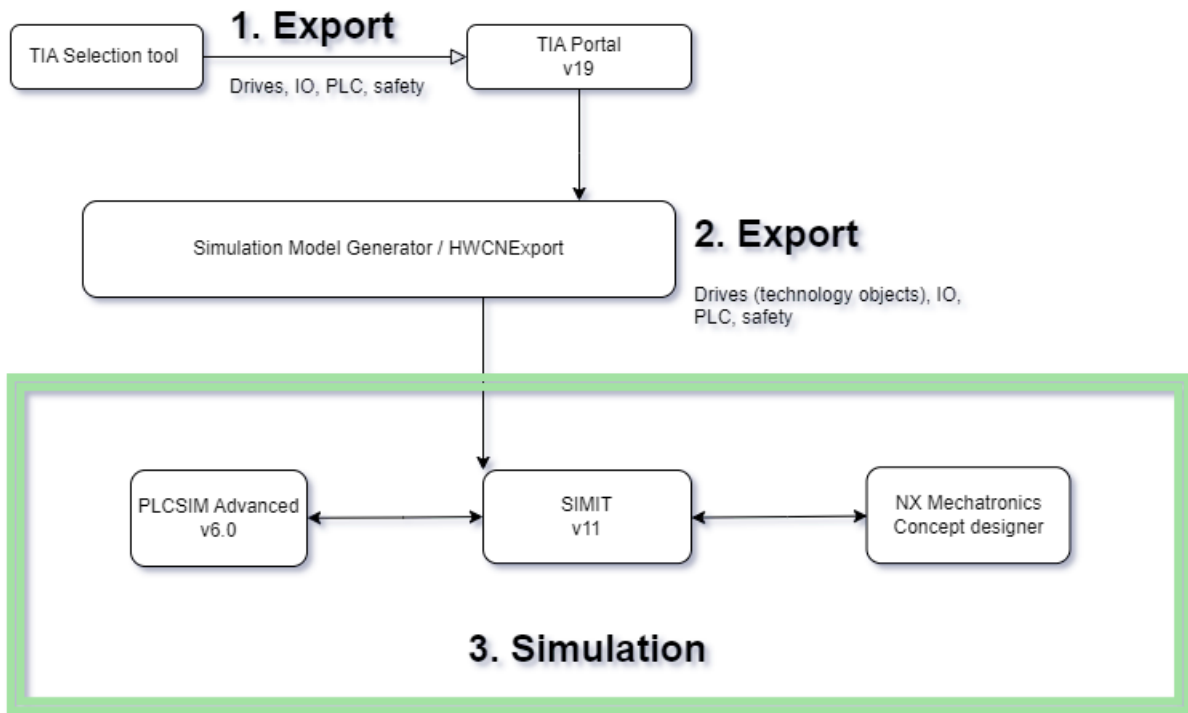
Välivarastointi tarkoittaa tuotannon eri vaiheiden välisten materiaalivirtojen tilapäistä säilyttämistä (Ten Hompel & Schmidt, 2007). Kappaletavara-automaatiossa se tehostaa tuotan-

non logistiikkaa tasaamalla kuormitushuippuja, ehkäisemällä pullonkauloja ja mahdollistamalla joustavamman tuotannonohjauksen. Välivarastot parantavat materiaalien saataavuutta, lyhentävät läpimenoaikoja ja lisäävät kokonaistuottavuutta, erityisesti monivaiheisissa prosesseissa.

4.3 Projektissa käytettävät ohjelmistot

Tässä luvussa käsitellään valittuja ohjelmia, niiden ominaisuuksia, ja selitetään, miksi juuri nämä ohjelmistot päätettiin ottaa käyttöön. Projektin simulointiin valittiin Siemensin ohjelmistopaketti, jonka avulla pystyttiin simuloimaan kaikkien tarvittavien toimilaitteiden toimintaa tarkasti ja luotettavasti. Siemensin ratkaisut tarjoavat laajan valikoiman työkaluja erityisesti teollisuusautomaation ja prosessien simulointiin, mikä oli keskeinen syy ohjelmiston valintaan.

Automaatio-ohjelmisto suunniteltiin TIA Portal 19 -ohjelmalla, joka sisältää WinCC Unifiedin. Toimilaitteiden simulointiin sekä signaalien liittämiseen simulaatiosta automaatio-ohjelmaan käytettiin Siemens SIMIT -ohjelmaa. Laitteiston ohjauspaneeli toteutettiin WinCC Unifiedilla. Logiikkalaitteiston simuloitu käyttö toteutettiin PLCSIM-ohjelmalla. Simulaation toteutus tehtiin Siemens NX mekaniikkasuunnitteluohjelmalla, jonka lisäosaksi tarvittiin Mechatronics Concept Designer. MCD:tä käytettiin automaatioprojektin simuloinnin lisäksi esisuunnitteluvaiheessa mekaniikkasuunnittelun apuna. Kuviossa 6 esitetään suunnittelun järjestys, jossa tehdään automaation komponenttien vienti ensin TIA selection toolista TIA portaliin, jonka jälkeen TIA Portalista viedään tarvittavat komponentit SMG:n avulla SIMITiin. SIMITissä tehdään simuloitun logiikkaohjelmiston (PLCSIM) sekä mekaniikkamallin liitos. Varsinainen virtuaalinen käyttöönotto ja automaatiokoodin testausvaihe tehtiin NX MCD:n, SIMITin, PLCSIM Advancedin sekä TIA Portalin yhteiskäytöllä.



Kuvio 6. Simuloinnissa käytettyjen ohjelmistojen ja projektin sisältöjen vientirakenne suunnittelussa.

4.4 Automaatio- ja mekaniikkasuunnittelu

Automaatiosuunnittelun vaihe aloitettiin viemällä TIA Selection Toolin avulla mitoitettut komponentit ja laitteet TIA Portaliin. Näihin kuuluivat muun muassa PLC, HMI ja hajautusyksiköt. Tarvittavien laitteiden vienti onnistui luomalla AML-tiedostomuodossa oleva projektitiedosto, joka tuotiin TIA Portal -projektiin. Tämä vientivaihe vähensi TIA Portalissa tehtävää manuaalista laitteiden lisäystä, jossa laitteet haetaan TIA Portalin laitekatalogeista.

Aloitussvaiheessa suunniteltiin ohjelmakoodin rakenne pääpiirteittäin UML-kaavioon. Ohjelmakoodia kirjoitettaessa pystyttiin testaamaan useita eri toimintoja simulaation avulla. Suurimmassa osassa lohkoista käytettiin SCL-ohjelmointikieltä, ja joissakin tapauksissa hyödynnettiin myös FBD-kieltä. Testausvaiheessa tarkistettiin palettien vienti ja tuonti väli-varaston varastopaikoille. Lisäksi varmistettiin palettien kuljetus pakkauspaikoilta tuotantolinjan seuraavalle koneelle poistokuljettimia pitkin. Työjonon luonti ja päivittäminen asiak-

kaan palvelimen kautta testattiin huolellisesti, sillä PLC:n työjono määrittää palettien siirtojärjestyksen. Kommunikointi asiakkaan tuotannonohjausjärjestelmän kanssa varmistettiin, jotta prosessi pysyy synkronoituna tuotantotarpeiden kanssa. Kommunikointi TIA Portalissa rakennettiin LHTT_PostPut ja LHTTP_Get – lohkoilla, jotka löytyvät Siemensin lohkokirjastosta. Lohkoihin parametroidiin portti, jota yhteys käyttää sekä laitteen ID-numero.

Myös anturien toimintaa testattiin, jotta niiden tarkkuus voitiin taata. Antureiden ja muiden ohjausten vientivaiheessa luotiin tiedonsiirtoa varten signaalit. Uusien palettien luonti tehtiin NX MCD:ssä Object source -toiminnon avulla, jossa signaalin kautta yhdistettiin SIMIT-simulaatioon. Tämä mahdollisti uusien palettien luomisen asettamalla pulssi PLC-muuttujalle, mikä simuloi uuden paletin lisäämistä järjestelmään.

Järjestelmä sisälsi myös viivakoodin lukemista, joten tarvittavat laitekonfiguraatiot viivakoodinlukijoille tehtiin toimistotiloissa ennen varsinaista käyttöönottoa. Näin varmistettiin, että lukijat toimivat suunnitellulla tavalla ja integroituivat muuhun järjestelmään. Lisäksi testauksella varmistettiin, että viivakoodinlukijat kykenevät käsittelemään oikeanlaista viivakoodiformaattia ja kommunikoimaan sujuvasti muiden järjestelmän osien kanssa.

Mekaniikkasuunnittelun mallinnusvaihe toteutettiin Solid Edge -ohjelmistolla, joka on Siemensin kehittämä, parametriseen mallinnukseen ja kokoonpanojen hallintaan soveltuva CAD-työkalu. Solid Edge mahdollistaa tarkkojen 3D-mallien ja teknisten piirustusten laatimisen tuotannon ja suunnittelun tarpeisiin. Koska Siemens NX tukee laajasti erilaisia tiedostomuotoja ja CAD-mallien siirtoa eri järjestelmien välillä, suoritettiin mallin siirto Solid Edgestä NX:ään hyödyntäen ohjelmiston tarjoamaa import-toimintoa. Tämä mahdollistaa mallin jatkokäsittelyn, kuten simulointi- ja analyysitoimintojen lisäämisen ilman tarvetta mallin uudelleenrakentamiseen. Tässä vaiheessa määriteltiin muun muassa liikkeen rajat, anturien sijainnit sekä logiikkaan kytkettävät signaalit. Liikkeiden animointi ja mekaniikan käyttäytyminen testattiin NX:n sisällä ennen simuloitua logiikan kytkemistä. Mekaniikkamalliin lisättiin simulointiin tarvittavat komponentit ja liitännät, jotka muodostavat pohjan järjestelmän toiminnallisuuden testaamiselle. Näistä simulointiosuuksista ja niiden toteutuksesta Siemens NX -ympäristössä kerrotaan tarkemmin luvussa 4.5.

4.5 Mekaniikan simulointi

Projektin alkuvaiheessa tehtiin kartoitus tarvittavista simuloinnin osuuksista. Kartoituksen avulla voidaan arvioida MCD-simulaatiomallin tekemiseen tarvittavaa työmäärää. Tämän lisäksi täytyy ottaa huomioon myöhemmin tehtävä automaatio-ohjauksen liittäminen simulaatioon, johon kuuluu simuloitavien akseleiden liitos sekä anturien ja turvalogiikan simuloinnin liitokset MCD-malliin. Taulukossa 2 nähdään projektin simuloinnin arvioitu laajuus kokonaisuutena eriteltynä mekaniikkamallin ja automaation osalta sekä tarvittavien simulointikomponenttien käyttötarkoitus. Projektiin tuli myös lisäyksiä myöhemmässä vaiheessa, joten lähes kaikkien simulaation komponenttien määrä kasvoi.

Taulukko 2. Simuloinnin määritelty laajuus, simulointikomponenttien määrä.

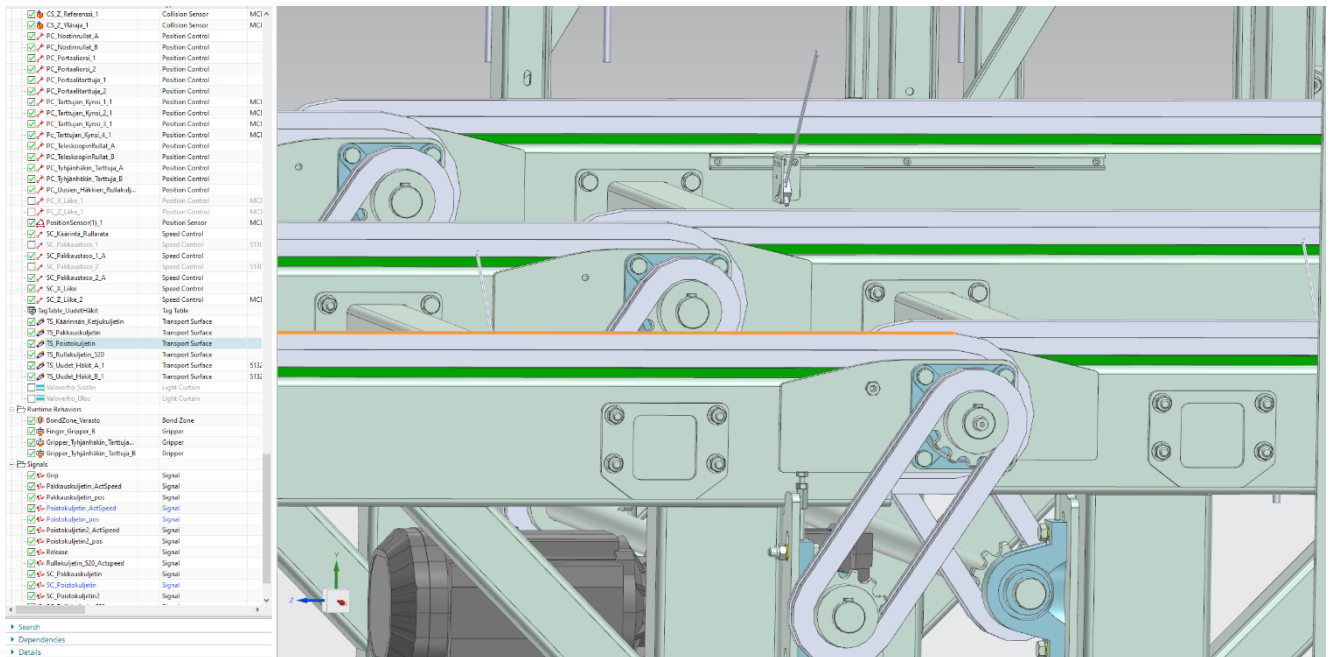
Mekaniikka, NX MCD		
Projektin komponentti	Tarkoitus	Määrä
Rigid Body	Mekaniikkaosien määrittely simuloitaviksi komponenteiksi	35
Collision Body	Törmäyspinnan tunnistus anturi-toimintoja varten mekaniikka-osaan	39
Collision Sensor	Anturit	42
Joint	Mekaniikkaosien liitokset, paikka-sidonnaisuudet ja liikeratamäärittelyt	47
Transport Surface	Kuljetinpintojen liikeohjaus	6
Position Control	Paikkaohjattujen akselien ohjaus	15
Speed Control	Nopeusohjattujen akselien ohjaus	5

Gripper Control	Manipulaattorin tarttujan ohjaus kiinni ja auki	1
Automaatio, SIMIT & Tia Portal		
Anturit	Anturien tunnistus, liitos automaatiolaitteistolle	34
Paikkaohjattu akseli	Servomoottoriohjaus, nostimet ja manipulaattori, teknologiaobjekti	8
Nopeusohjattu akseli	Moottoriohjaus, kuljettimet, teknologiaobjekti	6
Synkroniakseli	Paikkaohjatun akselin paikkaohjausta seuraava akseli, nostimet	4
Outputs, lähdöt	Manipulaattorin tarttujan kiinni/auki -käskyt	2

Signaalit vietiin MDC:stä SIMITiin Export Signals to SIMIT-toiminnon avulla, jolloin ne tulivat näkyviin NX:stä luodulle coupling-tasolle. Signaalien viennin jälkeen täytyi ottaa huomioon mittayksiköt. Mittayksikköinä käytettiin millimetrejä, joten ne tarkistettiin jokaisen ohjauksen ja tilatiedon osalta signaalien tuonnin jälkeen.

Mittayksiköiden oikeellisuus oli erityisen tärkeää, koska virheelliset yksiköt olisivat voineet johtaa simulointivirheisiin ja väärään järjestelmän käyttäytymiseen. Esimerkiksi, jos yksikköinä olisi käytetty vahingossa metrejä millimetricien sijaan, simulaatio olisi ohjautunut väärin matkallisesti tai nopeudellisesti. Lisäksi varmistettiin, että kaikki tuodut signaalit vastasivat alkuperäisiä suunnitteluarvoja ja päivittyivät oikein SIMIT-ympäristössä. Kuljettimille asetettiin maksiminopeus, joka oli 300 mm/s. Kuviossa 7 näkyy kuljettimen pinnalle luotu

fysiikkatoiminto ”Transport Surface”, jolla saadaan ”Rigid Body” -määritellyt kappaleet liikumaan sen pintaa pitkin.



Kuvio 7. Simulaatiomallissa olevat kuljettimet. Materiaali liikkuu kuljettimien päällä ja seuraaville kuljettimille Transport Surface -toiminnon avulla.

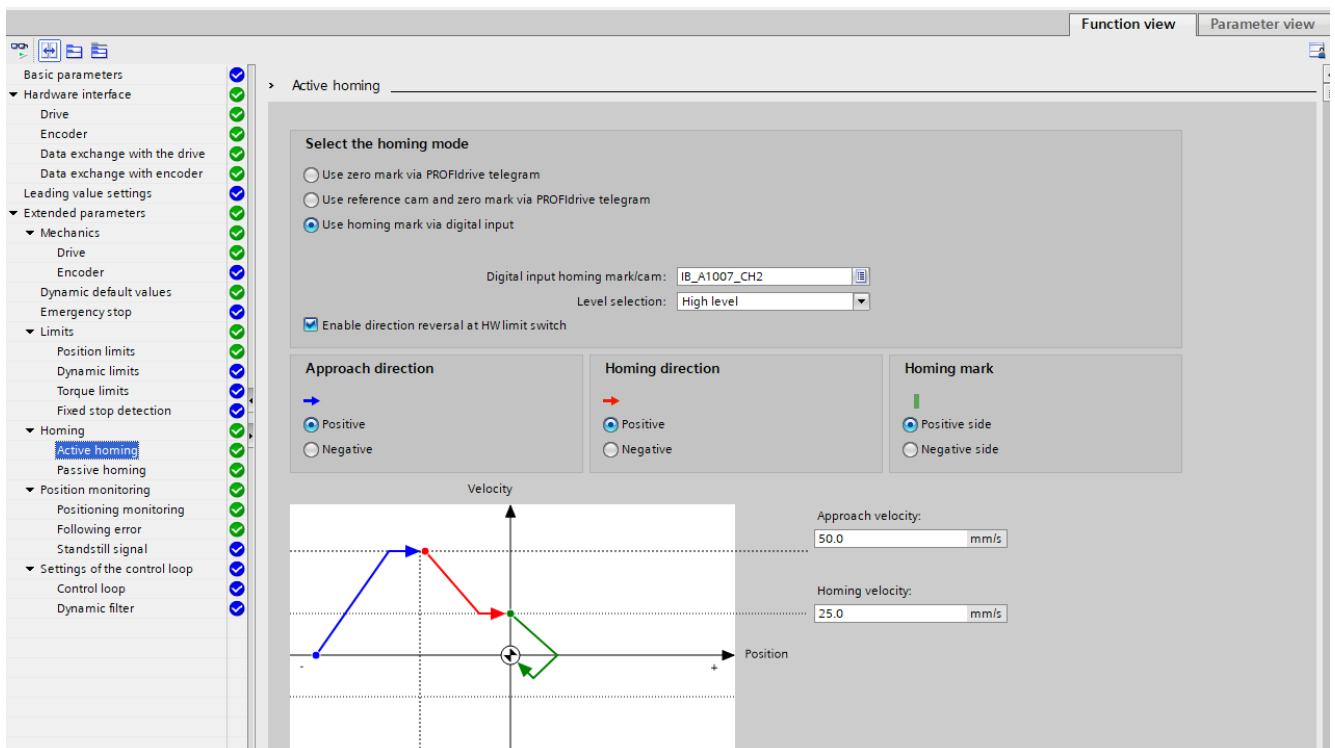
4.6 Automaatio-ohjelmiston simulointi

Ohjelmalohkojen kehitystä tehtiin simulointimallia hyödyntäen. Projektissa suoritettiin virtuaalinen käyttöönotto sekä automaattiliikkeiden simulointi, esimerkkinä palettien siirtolohkon ja PLC:n työjonoa luovan lohkon simulointi. Työjonolohkoon toteutettiin toimintoja, jotka muodostivat halutuista pyynnöistä liikejonon. Tätä jonoa käsiteltiin asiakkaan järjestelmästä saatujen käskyjen järjestyksen mukaisesti.

Simulaation aikana käytettiin Siemensin PLCSIM Advanced -ohjelmistoa, jonka avulla voitiin simuloida ohjauslogiikan toimintaa ilman fyysistä PLC-laitetta. PLC-ohjelman simulaatiolla tehtävää testausta varten kehitettiin alustuslohko, jonka avulla simulaatio valmisteltiin alkutilaan. Alkutilan luominen sisälsi ohjelmallisten paikkatietojen tyhjentämisen sekä palettien tunnusten asettamisen tyhjille palettipaikoille, pakkauspaikoille ja varastopaikoille.

Tyhjät paletit luotiin NX-simulaatioon, minkä jälkeen voitiin käynnistää pyydetty siirto. Siirron liikematka asetettiin valmiiksi simulaatiossa, jolloin saatiin testattua paletin siirtyminen kuljettimelta toiselle riittävän pitkällä matkalla.

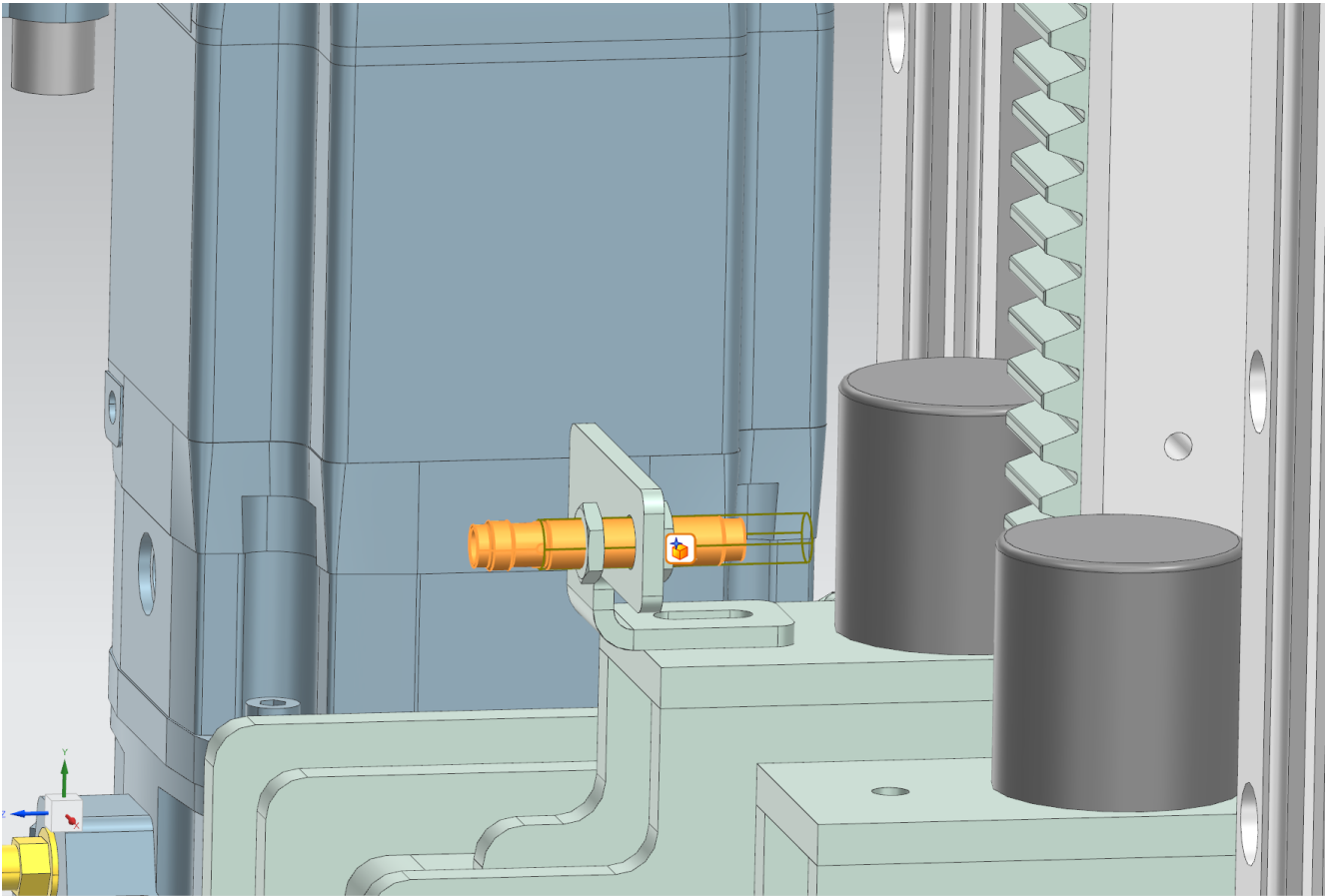
Simulaation avulla saatiin testattua myös akselien kotiutus, kuten manipulaattorin koti-asema-anturille automaattinen hakeutuminen. Siemensin servo- ohjaukseen on mahdollista tehdä automaattinen kotiutus akseleille MC HOME- lohkon avulla (kuvio 8). Kun MC HOME -lohko käynnistetään, se ajaa akselin kotiutusasemaansa hakeutumalla määritetyille anturille.



Kuvio 8. Teknologiaobjektin kotiutustoiminnon parametrinäkömä TIA Portalissa.

Anturi linkitettiin PLC-projektissa akselin teknologiaobjektille. Antureille valittiin Homing mode -vaihtoehdoksi "Use homing mark via digital input". Tällöin kotiutusanturina toimii valittu digitaalitulo. Lisätoiminnoksi valittiin "Enable direction reversal at HW limit switch", jolloin akseli tekee suunnanvaihdon päätyanturille saapuessa, jos kotiutusanturia ei olla saavutettu. Tämän toiminta voitiin todentaa jo simulaatiovaiheessa. Anturien tunnistusalue vaihtelee anturien mallin ja valmistajan mukaan, mutta NX:ssä on hyvät säätömahdollisuudet anturin tunnistusalueen koolle, joka tehdään Collision Sensor -toiminnolla (kuvio 9).

Anturit sijaitsivat suurimmalta osin samoissa paikoissa fyysisessä koneessa, kuin simulaatiomallissa. Tämä helpotti paikan päällä testaamista, koska anturien toiminta oli todettu valmiiksi simulaatiossa.



Kuvio 9. Mallinnettu anturi, ja anturin tunnistusalue "Collision Sensor".

4.7 Käyttöliittymän simulointi

Projektissa toteutettiin HMI-järjestelmän simulointia hyödyntäen WinCC Unified -ympäristössä TIA Portalissa. Simuloinnin tavoitteena oli testata ja varmentaa HMI:n toiminnallisuus ennen fyysistä käyttöönottoa, mikä mahdollisti mahdollisten virheiden havaitsemisen ja korjaamisen jo suunnitteluvaiheessa. HMI:n simuloinnissa keskityttiin servomootoreiden ohjauksen toimintaan sekä niiden parametrusointiin. Järjestelmään luotiin graafinen käyttöliittymä, josta käyttäjä pystyi säätämään moottorien nopeutta, asentoa ja muita keskeisiä ohjausparametreja. Simuloinnin aikana testattiin myös moottorien eri ajotilat ja varmistettiin, että HMI kommunikoi oikein PLC-ohjauksen kanssa.

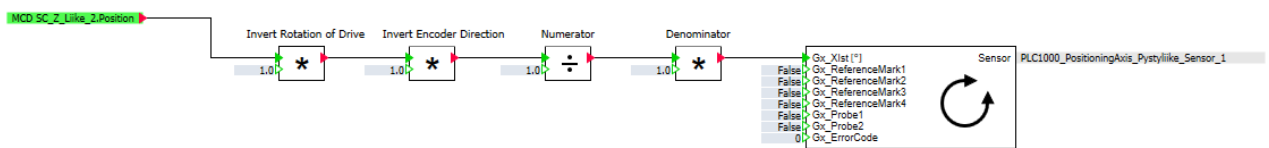
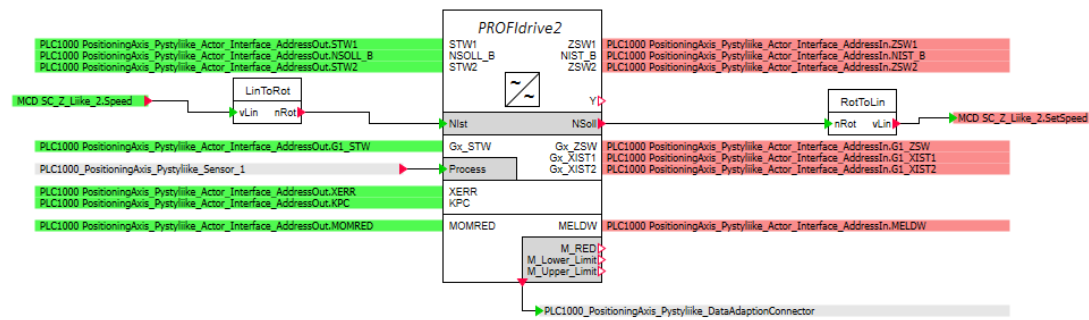
Simulaatio mahdollisti käyttöliittymän ja logiikan yhteistoiminnan varmentamisen ennen fyysisten laitteiden käyttöönottoa, mikä lyhensi asennus- ja käyttöönottoaikaa näiden komponenttien osalta. HMI-simulointi osoittautui hyödylliseksi työkaluksi projektin kehitysprosessissa varmistuen, että järjestelmä vastasi asetettuja vaatimuksia ennen lopullista käyttöönottoa. Varsinaiseen HMI:n käyttöönottoon liittyy kuitenkin aina työvaiheita, joita ei voida simulaatiossa todentaa, kuten laitteiston firmware -version päivitykset, väyläasetukset ja laitteen yhteysertifikaatit.

4.8 Moottorihjausten simulointi

Virtuaalisen moottorien testauksen avulla voidaan havaita, että pienillä muutoksilla akselien kiihtyvyys- ja hidastuvuusarvoihin on merkittävä vaikutus järjestelmän suorituskykyyn. Simulaation ansiosta näitä arvoja voidaan säätää tarkasti ilman, että järjestelmää joudutaan ottamaan fyysisesti käyttöön.

Moottorihjausten simulointi oli olennainen osa projektia, sillä sen avulla voitiin optimoida järjestelmän suorituskykyä ja varmistaa, että kaikki liikkeet toteutuivat halutulla tavalla jo ennen fyysistä testausvaihetta. Projektissa käytettiin kahta eri akselityyppiä: nopeusohjattua ja paikoitusohjattua akselia. TIA Portal -projektiin luotiin teknologiaobjektit, joiden avulla akselien ohjaus toteutettiin. Nopeusohjatut ja paikoitusohjatut moottorimoduulit siirrettiin TIA Portalista SIMIT-simulointiympäristöön käyttämällä Simulation Model Generator -ohjelmistoa. Kuviossa 10 näkyy SIMITiin tuotu servo-ohjauksen moottorimoduuli, jossa on Telegram-osoitteet tulo- ja lähtöpuolilla.

Mechatronics Concept Designerissa simulaation liikkeet kirjoitetaan ja luetaan lineaarisina servomoottoreiden akseleille. Tämän vuoksi signaaleille oli tarpeen tehdä muunnos, jotta ne saatiin vastaamaan fyysisen järjestelmän toimintaa. Signaalien muuntamisessa hyödynnettiin SIMITin LinToRot- ja RotToLin-kirjastolohkoja, joiden avulla lineaariset liikkeet muunnettiin pyöriviksi ja päinvastoin.



Kuvio 10. SIMITiin tuotu servo-ohjaus.

Mekaniikan simuloinnin liittämällä akseliohjauksiin havaittiin tilanteita, joissa tapahtui kappaleiden törmäyksiä toisiinsa ja servoakseli meni virhetilaan. Tällöin virhe täytyi kuitata ohjauksesta, ennen kuin ohjausta voitiin jatkaa. Lisäksi simulaation avulla voitiin hienosäätää liikeratoja ja akselien ohjausparametreja, jotta liikkeet saatiin optimoitua tehokkaammiksi.

4.9 Turvatoimilaitteiden simulointi

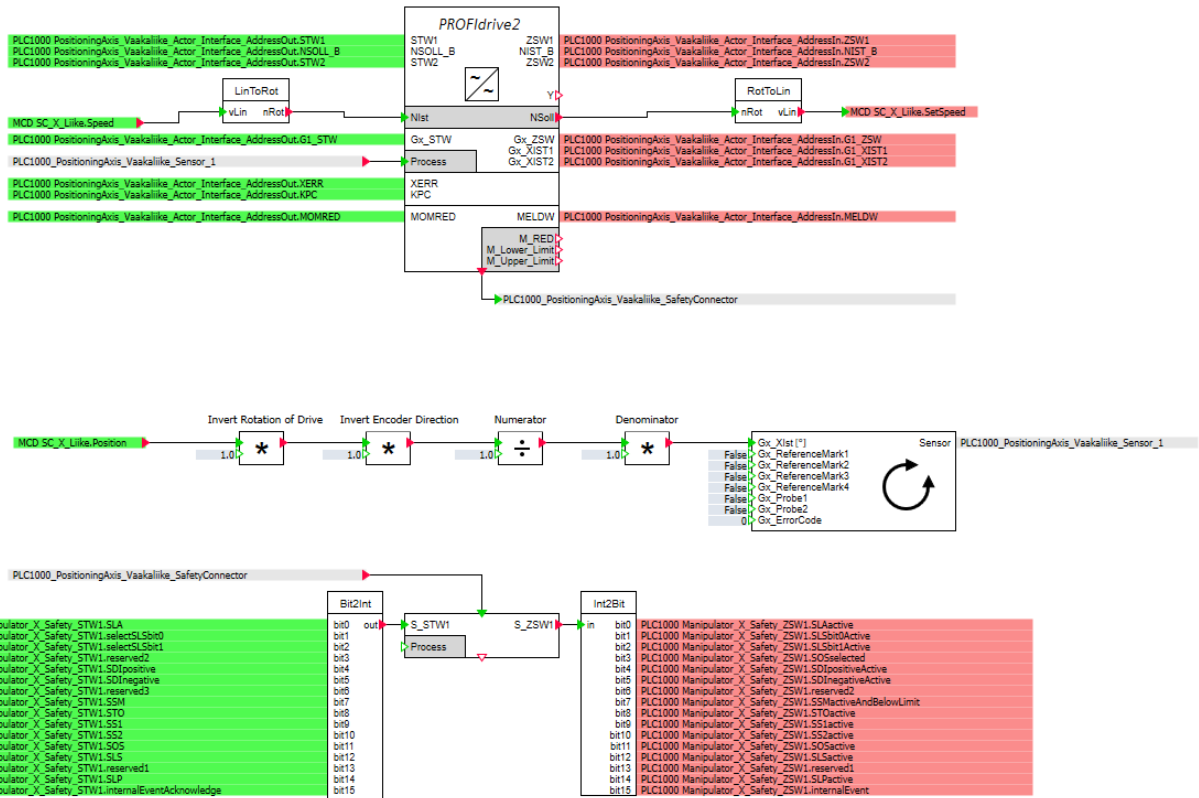
Turvapiirin simulointiin sisältyi taajuusmuuttajien pysäytys turvallisessa ajassa (Safe Stop), sen konfigurointi ja pysäytystoiminnolle ohjelmoidut FBD-lohkot, jotka tuotiin projektiin Siemensin LDRVSafe -kirjastosta. Turvapiirin katkeamisesta tapahtuva akselien pysäytys voitiin simuloida valmiiksi ohjaamalla turvapiirin katkeaminen simuloidusti päälle PLC-muuttujasta. TIA Portalissa akseleille konfiguroidut Safety Telegram -turvaosoitteistot (kuvio 11) vietin Simulation Model Generatorin avulla SIMITiin simuloiduille akseleille (kuvio 12).

Telegram configuration

Name	Item	Link	Telegram	Length	Extension	Type	Partner	Partner data area
Send (Actual value)		➔	Free telegram	1	words	→	CD	PLC1000 I 256...257
Receive (Setpoint)		➔	Free telegram	1	words	←	CD	PLC1000 Q 256...257
<Add telegram>								
▼ Infeed_1_U1-Telegrams 2								
Send (Actual value)		➔	SIEMENS telegram 370	1	words	→	CD	PLC1000 I 258...259
Receive (Setpoint)		➔	SIEMENS telegram 370	1	words	←	CD	PLC1000 Q 258...259
<Add telegram>								
▼ Poistokuljetin_400_400U1-T... 3								
Send Safety Integrated te...		➔	PROFisafe telegram 30	6	bytes	→	F-CD	PLC1000 I 264...269
Receive Safety Integrated...		➔	PROFisafe telegram 30	6	bytes	←	F-CD	PLC1000 Q 264...269
Send (Actual value)		➔	Standard telegram 1	2	words	→	CD	PLC1000 I 450...453
Receive (Setpoint)		➔	Standard telegram 1	2	words	←	CD	PLC1000 Q 450...453
<Add telegram>								

Project 2571-MakelaAlu_HakinKasittely...

Kuvio 11. ProfiSafe telegram - turvasanat määriteltynä TIA Portalissa akselille.



Kuvio 12. Safety Telegram - turvaosoitteisto liitettyä SIMITissä akselille.

Turvatoimilaitteita olisi ollut mahdollista simuloida enemmän, kuten turvapainikkeita, turvanopeuden valvontaa tai turvaskannereita. Projektin turvaosuuksien simulointi kuitenkin rajattiin turvallisten pysäytysten sekä turvaosoitteiston simulointiin.

4.10 Esikokoonpano ja esikäyttöönotto

Esikokoonpano ja siihen liittyvä esikäyttöönotto toteutettiin asiakkaan alihankkijan tiloissa. Tässä vaiheessa projektia suunnittelu ja osien valmistus olivat edenneet osittain valmiiksi, mikä mahdollisti testattavien kokonaisuuksien kokoamisen ja testaamisen. Kokoonpanon jälkeen suoritettiin tehdastestin edellyttämät koeajot, joiden aikana päästiin ensimmäistä kertaa havainnoimaan tuotantolinjan osittaista toimivuutta. Samalla voitiin arvioida, miten suunnitteluratkaisut toimivat käytännössä fyysisessä laitteistoympäristössä.

Tehdastestejä varten koottiin seuraavat osakokonaisuudet: manipulaattori, pakkauskuljetin, kaksi pakkausnostinta sekä osa laitteiston kuljettimista. Näiden avulla voitiin testata tuotantolinjan ydintoimintojen yhteensopivuutta ja toimintavarmuutta. Testien aikana tarkasteltiin muun muassa liikkeiden tarkkuutta, laitteiden välistä synkronointia, turvatoimintojen reagointia sekä mahdollisia suunnitteluvirheitä.

Tehdastestien ulkopuolelle jäivät komponentit, joita ei vielä ollut valmistettu tai joiden kokoaminen oli aikataulutettu myöhempään vaiheeseen. Näihin kuului muun muassa osa kuljetinratkaisusta, lopulliset suojarakenteet sekä automaattisen ohjauksen lopullinen ohjelmisto. Koko tuotantolinjaa ei tässä vaiheessa koottu valmiiksi, vaan lopullinen kokoonpano ja integrointi päätettiin toteuttaa varsinaisessa käyttöönottovaiheessa asiakkaan tuotantotiloissa. Tästä syystä testaus kattoi vain laitteiston osakokonaisuuksia, mutta antoi kuitenkin tärkeää tietoa järjestelmän toimivuudesta ja kehitystarpeista ennen lopullista asennusta ja käyttöönottoa.

4.11 Käyttöönotto loppuasiakkaalla

Käyttöönotto tehtiin asiakkaan tiloissa. Suunnitellut ja esitestatut laitteet toimitettiin loppukokoonpanopaikalle. Turvalaitteiston käyttöönotto tehtiin kokonaisuudessaan tässä vaiheessa projektia. Tuotantolinjan laitteet otettiin aluksi tarvittavilta osin käyttöön, jotta asiakas pystyi tekemään tuotantoa. Tässä vaiheessa manipulaattori ja osa laitteistoista ei ollut vielä käytössä, joten järjestelmää ajettiin osittain myös käsiajotilassa.

Järjestelmän testausta täytyi suorittaa fyysisillä paleteilla, ja kappaletavara-automaation toiminta varmistettiin tekemällä testiajoja laitteiston läpi. Varsinaisella fyysisellä laitteistolla

testaaminen oli huomattavasti hitaampaa kuin digitaalisen kaksosen avulla testaaminen. Ennen fyysistä testausta kaikki järjestelmän keskeiset osiot, kuten automaattiajoon liittyvät ohjelmalohkot, jotka ohjasivat kuljettimia tai manipulaattoria, oli validoitu simulaatiossa.

Simulaation ansiosta fyysisten kappaleiden kanssa tehtävän testauksen tarve väheni merkittävästi, sillä suuri osa mahdollisista ongelmista oli voitu havaita ja korjata etukäteen. Tämä nopeutti testausprosessia ja vähensi materiaalin kanssa tehtävää testaustyötä. Fyysisen testauksen rooli jäi pääasiassa varmistamaan, että järjestelmä toimii todellisissa olosuhteissa odotetulla tavalla ja että simulaatiossa havaitut optimoinnit siirtyivät saumattomasti käytännön toteutukseen.

Automaatioprojektin etukäteen simuloidut osiot, kuten SCL-ohjelmakoodilla tehdyt automaattilohkot, toimivat pääosin hyvin, eikä merkittäviä muutoksia näihin ohjelmaosuuksiin tarvittu. Simulointi mahdollisti mahdollisten ongelmakohtien ennakoimisen ja vähensi käytössä tarvittavaa säätötyötä. Käyttöönoton aikana ilmeni kuitenkin joitakin lisättäviä osuuksia, jotka nousivat esiin käytännön testauksen ja tuotantoympäristön erityispiirteiden myötä.

Käyttöönoton yhteydessä tehtiin kommunikointiliitos asiakkaan järjestelmän ja PLC:n välille, minkä avulla tuotantodataa tuotiin PLC:lle jatkokäsittelyä varten. Toteutuksessa oli huomioitava järjestelmien välinen yhteensopivuus, parametrit TIA Portalin laitteistokonfiguraatioon ja mahdolliset viiveet tiedonsiirrossa. Lisäksi asiakkaan tuotantokuormitus ja sen vaihtelut toivat mukanaan haasteita, jotka vaativat tarkkaa optimointia, jotta automaatiojärjestelmä ei aiheuttaisi häiriöitä tuotantoprosessiin.

Järjestelmän hienosäätöä tehtiin erityisesti reaaliaikaisen tiedonhallinnan ja tuotantodatan luotettavan siirron osalta. Käyttöönoton aikana tehtiin useita parannuksia, jotka tukivat automaatiojärjestelmän sujuvaa toimintaa ja varmistivat sen luotettavuutta tuotantoympäristössä.

5 TULOKSET, ARVIONTI JA POHDINTA

Projektin ja tutkimustyön myötä kävi ilmi, että digitaalinen kaksonen ei ole vain visuaalinen malli, vaan myös fyysikaalisesti tarkka ja dynaaminen järjestelmä, joka vaatii huolellista kalibrointia ja testausta. Tämä korostaa laadukkaan suunnittelutyön ja iteratiivisen testauksen merkitystä erityisesti silloin, kun digitaalista kaksosta käytetään päätöksenteon tukena tai todellisten prosessien simulointiin.

5.1 Tulokset

Työssä tarkasteltiin projektia, jonka aikana saatiin kartoitettua simulaatiotyökaluja ja toimintoja, joita voidaan hyödyntää jatkossa suunnittelutyössä. Digitaalisesta kaksosesta saadaan tehtyä hyvin fyysistä järjestelmää kuvaava simulaatio, joka vaatii useita ohjelmistoja ja resursseja. Esisuunnittelun ja mekaniikkasuunnittelun vaiheessa simuloitiin onnistuneesti konseptin validointia tuotannon toiminnan kannalta. Tällä tavalla testattiin paitsi laitteistojen toimintaa myös tuotannon logistiikan sujuvuutta ja mahdollisia pullonkauloja eri skenaarioissa, mikä oli keskeistä suunnittelun aikaisessa vaiheessa. Eri vaihtoehtoja laitteiston kokoonpanolle saatiin kokeiltua tarvitsematta fyysistä järjestelmää.

Fyysisten ominaisuuksien määrittely osoittautui simulaation toimivuuden kannalta kriittiseksi tekijäksi, erityisesti mallinnuksen tarkkuuden osalta. Oli tärkeää harkita, mitkä osat otetaan mukaan liikemalliin. Esimerkiksi sylinterin simulointi voitiin jättää pois, jolloin nousuvan pöydän liikettä voitiin simuloida ilman sylinteriliikkeen tarkkaa mallinnusta. MCD-kokoonpanon osille asetettujen painojen ja kitkakertoimien täsmällisyys vaikutti suoraan siihen, miten järjestelmä käyttäytyi simulaatioympäristössä. Havaittiin, että mikäli joltakin kappaleelta puuttui painomäärittely, sen päälle asetettu Rigid Body -ominaisuudella varustettu kappale saattoi käyttäytyä simulaatiossa odottamattomasti. Tämä johti ei-toivottuihin liikkeisiin mallin toiminnassa, jolloin kappaleet saattoivat liukua pois paikoiltaan.

Projektin automaatio suunnittelun aikana havaittiin, että digitaalisen kaksosen käyttö lisää testauksen ja käyttöönoton tehokkuutta. Simulaation avulla pystyttiin tunnistamaan ongelmakohtia, kuten törmäystilanteita ja servoakselin virhetilanteita, joihin voitiin reagoida jo suunnitteluvaiheessa. Tämä vähensi tarvetta fyysisille testeille ja nopeutti vianmääritystä.

Yksi merkittävä hyöty oli vianmäärittelyn nopeutuminen. Koska simuloinnissa pystyttiin visualisoimaan ja analysoimaan servoakselien käyttäytymistä eri tilanteissa, ongelmatilanteiden juurisyyt saatiin tunnistettua ja korjattua helpommin. Tämä mahdollisti myös ohjelmakoodin suojaus- ja korjausmekanismien kehittämisen, joiden avulla virhetilanteet tunnistettiin ja niiden reagoitua varten voitiin rakentaa ohjelmaan ja sen käyttöliittymään kuittauksia. Lisäksi simulaatio tarjosi mahdollisuuden analysoida ja optimoida liikeratoja, mikä parantaa turvallisuutta ja toimintavarmuutta. Sen avulla olisi myös mahdollista kehittää turvaohjelmistoon laajemmin mekanismeja, jotka voivat estää tai lieventää virhetilanteita.

Digitaalinen kaksonen tuki myös projektin optimointia ja riskienhallintaa. Ohjelmakoodiin tehtiin virtuaalisen käyttöönoton aikana muutoksia, joilla nopeutettiin liikkeitä. Esimerkiksi manipulaattorin nosto- ja laskuliikkeeseen lisättiin oikaisuliike, jonka ansiosta akselia voitiin alkaa liikuttaa vinottain jo ennen kuin se oli saavuttanut yläasentonsa. Tämän huomattiin parantavan liikkeiden tehokkuutta. Liikkeiden turvallisuutta parannettiin määrittelemällä lähestymisnopeudet, jolloin liikkuvaa servoakselia hidastettiin ohjelmallisesti sen lähestyessä esimerkiksi kappaletavaran poimintakohtaa.

Digitaalinen kaksonen tuo merkittäviä ajallisia ja taloudellisia etuja perinteisiin menetelmiin verrattuna. Suunnitteluvaiheessa se mahdollistaa vaihtoehtojen vertailun ja simuloinnin ilman fyysisiä prototyyppijä, mikä nopeuttaa päätöksentekoa ja vähentää virheitä. Oikeat komponentit voidaan valita jo varhaisessa vaiheessa, mikä ehkäisee kalliita virrehankintoja ja uudelleenasetuksia. Lisäksi virtuaalinen käyttöönotto lyhentää asennusaikaa paikan päällä ja vähentää matkustustarvetta. Myös järjestelmän toiminnallisuus ja yhteensopivuus voidaan varmistaa ennalta, mikä tehostaa koko projektin etenemistä. Näiden etujen myötä digitaalinen kaksonen vähentää kustannuksia ja lyhentää projektien läpimenoaikaa merkittävästi.

5.2 Pohdinta

Projektissa ei päädytty käyttämään Simuloitua PLC:tä API-kommunikaation testaamiseen, vaikka se olisi ollut mahdollista toteuttaa. Kommunikaatioon tarvittavat GET- ja POST-toiminnot testattiin onnistuneesti erillisellä fyysisellä PLC:llä ennen varsinaista käyttöönottoa.

Täten saatiin tehtyä myös tarvittavat laitesetukset valmiiksi TIA Portalin Hardware-määrittelyssä.

Mikäli mekaniikkasuunnittelija on saanut määritettyä valmiiksi NX:n MCD-malliin simulaation komponentteihin tarvittavia fysikaalisia ominaisuuksia, on tästä merkittävästi hyötyä simulaation rakennusta varten automaatiosuunnittelun ja virtuaalisen käyttöönottomallin teon kannalta. Tällöin automaatiosuunnittelijalle jää tehtäväksi signaalien liitokset sekä automaatio-ohjelmiston testaus- ja kehitystyö mallin avulla.

Virtuaalisen käyttöönoton teknologian kehitys on nopeaa, ja sen merkitys teollisuuden suunnittelu- ja käyttöönottoprosesseissa tulee kasvamaan merkittävästi. Kehittyneet simuloimallit, reaaliaikainen data-analytiikka ja tekoälyn yhdistäminen digitaalisiin kaksosiin helpottavat virtuaalisen käyttöönoton aloittamisen kynnystä ja mahdollistavat tarkan ennakkoinnin ja prosessien optimoinnin.

Digitaalisten kaksosten markkinoiden odotetaan kasvavan voimakkaasti lähivuosina, mikä osoittaa niiden vahvistuvan aseman osana modernia teollisuusautomaatiota (MarketsandMarkets, 2023). Tulevaisuudessa digitaalinen kaksonen toimii yhä enemmän koko laitteen elinkaaren kattavana ratkaisuna, tukien myös kunnossapitoa, laadunvalvontaa ja resursienhallintaa (Tao ym., 2018). Tämä vähentää tuotantokatkoksia, parantaa turvallisuutta ja tuo lisää kustannus- ja ajansäästöjä. Teknologian yleistyminen ja kustannustason lasku mahdollistavat sen käyttöönoton laajemmissa sovelluksissa ja pienemmissäkin yrityksissä. Esimerkiksi pilvipalveluiden hyödyntämisestä voisi olla apua, jolloin laskentatehoa voitaisiin vuokrata kalliiden laitehankintojen sijaan.

LÄHTEET

- Ares. (30.10.2024). *How using a digital twin will revolutionize your security*. <https://ares-securitycorp.com/2024/10/30/digital-twin/>
- Beckhoff Automation. (2023). *TwinCAT automation software*. <https://www.beckhoff.com/twincat3>
- Beckhoff Automation. (i.a). *Tf6100 | twincat 3 opc ua*. <https://www.beckhoff.com/en-en/products/automation/twincat/tfxxxx-twincat-3-functions/tf6xxx-connectivity/tf6100.html>
- Caplan Oy. (2021). Dokumentti: *Simulaatio-ohjelmistojen vertailu*. Haettu 2.3.2025. Caplan Oy:n sisäinen dokumentaatio.
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: choosing among five approaches* (3. p.). SAGE Publications.
- Dietz, M. Reichvilser, T., & Pernul, G. (2024). *A data-driven framework for digital twin creation in industrial environments*. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10584485>
- Fielding, R. (2000). *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. University of California, Irvine.
- Groover, M. (2014). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Pearson Prentice Hall.
- ISA. (2020). *Automation system simulation and virtual controls testing – what you may be missing*. <https://www.isa.org/intech-home/2020/july-august-2020/features/automation-system-simulation-and-virtual-controls>
- Koskinen, M. (24.9.2024). *Digitaalinen kaksonen näyttää digitaalisen peilikuvan yhteiskuntaan*. Fujitsu Finland Oy. <https://net.fujitsu.fi/digitaalinen-kaksonen-nayttaa-digitaalisen-peilikuvan-yhteiskuntaan/>
- Mahmoud, M. S., & Zribi, M. (2017). *Modeling, estimation and control of networked control systems*. CRC Press.
- MarketsandMarkets. (2023). *Digital twin market by application (predictive maintenance, business optimization, performance monitoring, inventory management), industry (automotive & transportation, healthcare, energy & utilities), enterprise and geography – global forecast to 2028*. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html>

- Noga, M., Juhás, M., & Gulan, M. (2022). *Hybrid virtual commissioning of a robotic manipulator with machine vision using a single controller*. MDPI. https://www.researchgate.net/publication/358759091_Hybrid_Virtual_Commissioning_of_a_Robotic_Manipulator_with_Machine_Vision_Using_a_Single_Controller/download
- OPC Foundation. (2017). *Opc unified architecture (ua) specification*. <https://opcfoundation.org>
- Rehman, T.B. (2018). *Cloud computing basics*. Mercury Learning and Information.
- Robinson, S. (2014). *Simulation: the practice of model development and use*. Palgrave Macmillan.
- Rosen, R., Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. D. (2015). *About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing*. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 567–572. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>
- Sargent, R. G. (2013) *Verification and validation of simulation models*. *Journal of Simulation*, 7(1), 12–24. <https://doi.org/10.1057/jos.2012.20>
- Siemens. (i.a.-a). *Nx for simulation: realize innovation*. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/nx/simulation/>
- Siemens. (i.a.-b). *Totally integrated automation portal – always ready for tomorrow*. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>
- Siemens. (i.a.-c). *Mechatronics concept design*. <https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/cad-online/automation/mechatronic-design/>
- Siemens. (i.a.-d). *S7-plcsim advanced*. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-plcsim-advanced.html>
- Siemens. (i.a.-e). *nx mcd player xaas*. https://www.dex.siemens.com/plm/nx-for-design/nx-mcd-player-xaas?cclcl=en_US
- Siemens. (i.a.-f). *Simulation model generator*. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109780391/simulation-model-generator?dti=0&lc=en-US>
- Siemens. (i.a.-g). *Simit twincat coupling*. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109780950/simit-twincat-coupling?dti=0&lc=en-AF>
- Siemens. (i.a.-h) *Outperform your competition with a comprehensive digital twin*. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/topic-areas/digital-enterprise/digital-twin.html>

- Siemens. (i.a.-i). *Simatic s7-1500 open user communication (ouc)*. Haettu 27.4.2025 osoitteesta <https://support.industry.siemens.com>
- Siemens. (i.a.-j). *Virtual commissioning of machines with s7-plcsim advanced, simit, and nx mcd*. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109758943/virtual-commissioning-of-machines-with-s7-plcsim-advanced-simit-and-nx-mcd?dti=0&lc=en-FI>
- Siemens. (2021). *First step guide: how to start with software-in-the-loop based on simit and nx mcd*. [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109784433/First Step Guide SiL 2021 02 09 EN.pdf](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109784433/First_Step_Guide_SiL_2021_02_09_EN.pdf)
- Siemens. (2024a). *Siemens industry support. simit simulation platform (v11.2)*. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109746429/simit-simulation-platform-overview?dti=0&lc=en-US>
- Siemens. (2024b). *Value based licensing with nx*. <https://blogs.sw.siemens.com/nx-design/value-based-licensing-with-nx/>
- Siemens. (2024c). *Wincc unified v19 - system manual*. [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109828368/WinCC VisualizingProcessesUnified enUS en-US.pdf](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109828368/WinCC_VisualizingProcessesUnified_enUS_en-US.pdf)
- Siemens. (2025). *Hardware and software certifications*. <https://support.sw.siemens.com/de-DE/okba/PL8017193>
- Stackpole, B. (15.3.2022). *The digital twin takes shape -industrial companies are creating digital twins aimed at boosting efficiency, productivity, and plant performance*. Automationworld. <https://www.automationworld.com/factory/iiot/article/33001806/the-digital-twin-takes-shape>
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). *Digital twins and cyber–physical systems: current and future perspectives*. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(5), 2405–2415. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209580991830612X>
- Ten Hompel, M. & Schmidt, T. (2007). *Warehouse Management: Automation and Organization of Warehouse and Order Picking Systems*. Springer.
- Vietbay. (2024). *Recommended Computer Configuration for Installing NX 2412*. <https://vietbay.com.vn/en/recommended-computer-configuration-for-installing-nx-2412.htm>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods (6. p.)*. SAGE Publications.