

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# NOSTURIN KOMPONENTTIEN MALLINNUS SIMULAATIOALUSTALLE

TEKIJÄ Tatu Oksanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Tatu Oksanen			
Työn nimi Nosturin komponenttien mallinnus simulaatioalustalle			
Päiväys	25.3.2024	Sivumäärä/Liitteet	35
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Konecranes Finland Oy			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa RTG-nosturin nostokoneiston taajuusmuuttajista mallinnus Siemensin SIMIT-simulaatioalustalle. Simulointimallin ja simulaation avulla voidaan havaita sekä korjata mahdollisia virheitä jo suunnitteluvaiheessa.</p> <p>Työssä tutustuttiin RTG-nosturin rakenteeseen ja peruskuvaukseen sekä nostureissa käytettäviin Konecranesin kehittämiin DynAHoist taajuusmuuttajiin, jotka ohjaavat nostokoneistojen toimintaa. Lisäksi perehdyttiin simulaatioalustan ympärillä oleviin käsitteisiin. Työssä opeteltiin myös SIMIT-ohjelmiston käyttöä ja erilaisten toimintojen hyödyntämistä simuloinnin sekä visualisoinnin avulla.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin luotua toimivat simulointimallit, jotka havainnollistavat hyvin taajuusmuuttajien toimintaa. Työn kokonaisuus testattiin toimivaksi simuloimalla käyttäjä. Tämän työn avulla voidaan rakentaa jatkossa simulointimalleja myös muista nosturin komponenteista ja toiminnoista. Tulevaisuudessa on mahdollista edistää simulaatioalustan käyttöönottoa entisestään, esimerkiksi kokonaisen nosturin mallintamisen ja simuloinnin osalta.</p>			
Avainsanat SIMIT, taajuusmuuttaja, digitaalinen kaksonen, simulaatio			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author Tatu Oksanen	
Title of Thesis Modelling of Crane Components for Simulation Platform	
Date 25 March 2024	Pages/Appendices 35
Client Organisation / Partner Konecranes Finland Oy	
<b>Abstract</b> <p>The aim of the thesis was to implement modelling of the RTG crane's lifting mechanism inverters on Siemens SIMIT simulation platform. The simulation model and simulation can help to detect and correct potential errors already in the design phase.</p> <p>The work involved familiarizing with the structure and basic description of the RTG crane, as well as the DynAhoist inverters developed by Konecranes, which controls the operation of the hoisting mechanisms. In addition, the concepts around the simulation platform were explored. Learning to use the SIMIT software and utilizing various functions for simulation and visualization was also part of this work.</p> <p>As a result of the work, functional simulation models were created that effectively illustrate the operation of the inverters. The whole work was evaluated to be functional by simulating the drives. With this work, it will be possible to build simulation models for other crane components and functions in the future. It is also possible to further advance the usage of the simulation platform, for example, in terms of modelling and simulating an entire crane.</p>	
<b>Keywords</b> SIMIT, inverter, digital twin, simulation	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	KONECRANES FINLAND OY .....	7
2.1	Yleisesti.....	7
2.2	Port Solutions - Port Cranes Technology .....	8
3	RTG-NOSTURI.....	9
3.1	Nosturin rakenne .....	9
3.2	Sähkökäytöt .....	10
3.2.1	DynAHoist taajuusmuuttaja .....	10
4	TEOLLISUUDEN VIRTUALISOINTI .....	12
4.1	Virtuaalinen mallintaminen teollisuudessa .....	12
4.2	Digitaalinen kaksonen .....	12
4.3	Virtuaalinen käyttöönotto .....	13
5	SIMULAATIO .....	14
5.1	Yleisesti.....	14
5.2	Simulointimalli .....	14
6	KÄYTETTÄVÄT OHJELMISTOT .....	15
6.1	TIA-Portal.....	15
6.2	PLCSIM Advanced .....	17
6.3	SIMIT Simulation Platform .....	18
6.3.1	Hardware-in-the-loop.....	18
6.3.2	Software-in-the-loop .....	19
7	SIMULOINTIMALLIN LUONTI SIMIT-OHJELMISTOLLA.....	20
7.1	Ohjelmistojen liitântä .....	20
7.1.1	Taajuusmuuttajien rajapinnan tuonti.....	21
7.2	Ohjelmakaavioiden luonti .....	24
7.2.1	Taajuusmuuttajien simulointimalli .....	24
7.2.2	Sähkönsyötön simulointimalli .....	26
7.2.3	Ohjauspaikan simulointimalli .....	27
7.3	Simulointimallien testaus .....	28
8	POHDINTA.....	33

## KUVALUETTELO

KUVA 1. Myynnin jakauma segmenteittäin (Konecranes, 2023a) .....	7
KUVA 2. Myynnin jakauma alueittain (Konecranes, 2023b).....	7
KUVA 3. Tilausten jakauma asiakassegmenteittäin (Konecranes, 2023b).....	8
KUVA 4. RTG-nosturin rakenne (Konecranes, RTG, muokattu) .....	9
KUVA 5. Suljetun piirin vektoriohjaus (Konecranes, Intranet, muokattu) .....	10
KUVA 6. DynAHoist taajuusmuuttaja nosturin sähköhuoneessa .....	11
KUVA 7. Digitaalisen kaksosen tasot (Elomatic, 2021).....	12
KUVA 8. TIA-Portal V17 projektinäkömä .....	15
KUVA 9. Projektin ominaisuuksien valinta TIA-Portal projektissa.....	16
KUVA 10. Simulointiominaisuuden käyttöönotto TIA-Portal projektissa.....	16
KUVA 11. PLCSIM Advanced V4.0 aloitusnäkömä.....	17
KUVA 12. SIMIT SP V11.0 projektinäkömä .....	18
KUVA 13. Hardware-in-the-loop tekniikan rakenne (Siemens, 2018, s. 4).....	19
KUVA 14. Software-in-the-loop tekniikan rakenne (Siemens, 2022a, s. 9) .....	19
KUVA 15. Liitäntätavan valintaikkuna.....	20
KUVA 16. PLCSIM Advanced konfiguraation valintaikkuna .....	20
KUVA 17. PLCSIM Advanced liitännällä tuotu I/O-rajapinta .....	21
KUVA 18. Hoist A1 taajuusmuuttajan laitenumero ja I/O-alueet .....	21
KUVA 19. Hoist A1 tarvittavat tulot SIMIT:iin .....	22
KUVA 20. Hoist A1 tarvittavat lähdöt SIMIT:iin.....	23
KUVA 21. Chart -ohjelmakaavio ja komponenttikirjasto.....	24
KUVA 22. Nostokoneiston taajuusmuuttajien rakenne makrolohkolla .....	25
KUVA 23. Nostokoneiston taajuusmuuttajien rakenteen makro ohjelmalohkona .....	25
KUVA 24. Hoist A1 taajuusmuuttajan ohjauksen ohjelmakaavio .....	26
KUVA 25. Nosturin sähkönsyötön ja ohjauspaikan sähkökäyttöjen valinnat .....	27
KUVA 26. Ohjauspaikan mallinnus ja noston ajojen indikoinnit .....	27
KUVA 27. SIMIT:n luoma PLCSIM Advanced -simuloinnin PLC instanssi .....	28
KUVA 28. Ohjelman lataus virtuaaliselle PLC:lle.....	29
KUVA 29. Taajuusmuuttajan ohjauksen toimintakaavio pääpiirteittäin.....	30
KUVA 30. Simulointi - Molempien nostokoneistojen ajo ylöspäin.....	31
KUVA 31. Simulointi - Molempien nostokoneistojen ajo alaspäin.....	31
KUVA 32. Simulointi - Vain ensimmäisen nostokoneiston ajo ylöspäin .....	32

## 1 JOHDANTO

Gloaalissa tekniikan maailmassa tapahtuvat muutokset pakottavat yrityksiä kehittämään tuotteita sekä tuottavuutta entistä nopeammin ja tehokkaammin. Yksi vaihtoehto tämän mahdollistamiseksi on simulaatioalustan ja digitaalisen kaksosen hyödyntäminen yhdessä, mikä avaa mahdollisuuksia tehostamaan projekteja suunnitteluvaiheesta aina virtuaaliseen käyttöönottoon asti. Tämä konsepti on myös kustannustehokas, sillä simulaation avulla pystytään havaitsemaan ja korjaamaan erilaisia virheitä jo suunnitteluvaiheessa, mikä helpottaa ja nopeuttaa työtä järjestelmän fyysisessä käyttöönotossa.

Opinnäytetyö on jatkoa aiemmin Konecranesille tehdylle opinnäytetyölle, jossa tutkittiin SIMIT-simulaatioalustan käyttömahdollisuuksia nosturiautomaation parissa ja saatiin onnistuneesti testattua sen toiminta vaadittujen ohjelmien kanssa. Työn aihe on lähtöisin automaatio suunnittelutiimin mielenkiinnosta SIMIT-simulaatioalustan mahdollisuuksista ja sen käytettävyydestä auttavana työkaluna automaatio suunnittelijoille.

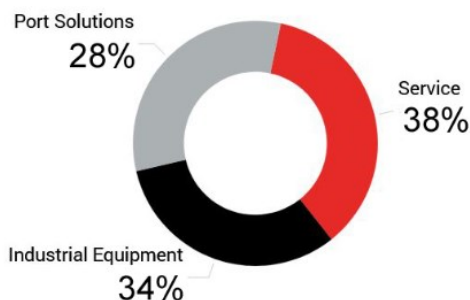
Työn tarkoituksena on simulointimallin tekemisen lisäksi oppia SIMIT-simulaatioalustan käyttöä ja jatkaa simulaatioalustan käyttöönottoa luomalla nosturin nostokoneistossa käytettävien taajuusmuuttajien mallinnus. Työn avulla nähdään käytännön tasolla, kuinka simulaatioalustaa voidaan hyödyntää nosturien suunnitteluprosessissa. Työssä tutustutaan RTG-nosturiin ja sen nostokoneistoa ohjaaviin taajuusmuuttajiin. Työ sivuaa myös simulaatioon läheisesti liittyviä käsitteitä sekä työssä käytettäviä ohjelmistoja. Lisäksi luodaan SIMIT-simulaatioalustalle simulointimallit tarvittavista komponenteista ja simuloidaan niiden käyttöä oikeellisuuden varmistamiseksi.

## 2 KONECRANES FINLAND OY

### 2.1 Yleisesti

Konecranes Finland Oy on yksi maailman johtavista nosturi- ja nostolaiteyrityksistä. Yhtiön liiketoiminta jakautuu kolmeen segmenttiin: huoltopalveluihin, teollisuuslaitteisiin ja satamaratkaisuihin, joista kukin tuottaa noin kolmanneksen yhtiön liikevaihdosta. (Konecranes, 2023a)

#### Sales by segment 2022

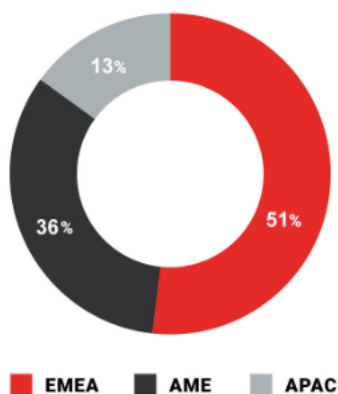


KUVA 1. Myynnin jakauma segmenteittäin (Konecranes, 2023a)

Konecranesin kansainvälistyminen on kasvanut merkittävästi orgaanisen laajentumisen ja onnistuneiden yritysostojen ansiosta. Viimeisen 40 vuoden aikana, kansainvälistymisen käynnistyttyä 1970-luvun alussa, yhtiö on ostanut lähes 100 yritystä. Viimeisen vuosikymmenen aikana Konecranes on laajentunut yrityskaupoilla Aasian ja Tyynenmeren alueella, Yhdysvalloissa ja useissa eri Euroopan maissa. (Konecranes, 2023b)

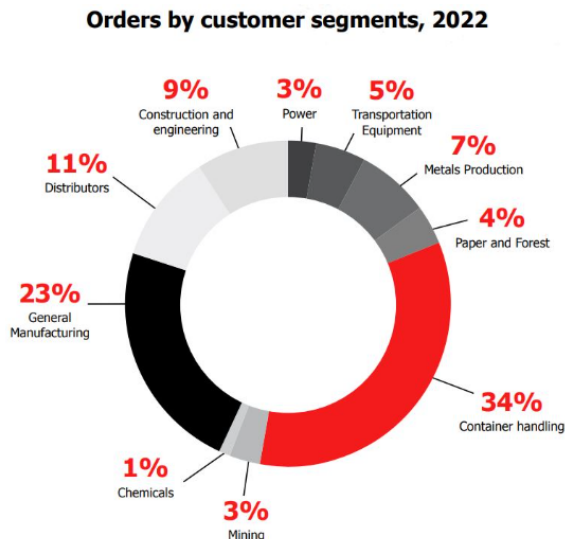
Vahvan maantieteellisen laajentumisen myötä liiketoiminnasta on tullut myös kansainvälisempää. Konecranesin vuoden 2022 avainlukujen mukaan saadut tilaukset olivat 4227,9 miljoonaa euroa, liikevaihdon ollessa 3364,8 miljoonaa euroa. Yhtiön myynti alueittain jakautuu kuvan 2 mukaan. EMEA (Eurooppa, Lähi-Itä ja Afrikka) alueen myynti on suurin 51 prosentilla, AME (Amerikan alue) alueen osuus 36 prosenttia ja APAC (Aasian ja Tyynenmeren alue) puolestaan 13 prosenttia. (Konecranes, 2023a & Konecranes, 2023b)

#### Sales by region 2022



KUVA 2. Myynnin jakauma alueittain (Konecranes, 2023b)

Konecranesin asiakaskunta on erittäin laaja ja monipuolinen. Asiakaskunnasta noin 80 prosenttia toimii teollisuuden eri tuotantosektoreilla, joihin kuuluu konepajateollisuus sekä metallin, energian, petrokemikaalien ja sellun ja paperin tuotanto. Loput 20 prosenttia koostuu konttisatamien ja terminaalien asiakkaista. Näiden palveluiden ja uusien laitteiden hankintoihin vaikuttavat yleensä maailmankaupan tilanne ja konttiliikenteen kehitys. (Konecranes, 2023b)



KUVA 3. Tilausten jakauma asiakassegmenteittäin (Konecranes, 2023b)

Konecranes työllistää yhteensä noin 16 500 työntekijää yli 50 eri maassa. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Hyvinkäällä, josta löytyy myös segmenttien tehdaskeskittymä. Hyvinkään tehtailla tehdään nostureiden ja nostolaitteiden keskeisimpiä elementtejä sekä tuotteisiin liittyviä sähköistyksiä. (Konecranes, 2023c)

## 2.2 Port Solutions - Port Cranes Technology

Opinnäytetyö tehdään Port Cranes Technology osastolle, joka vastaa yrityksen satamanostureista. Port Cranes Technology kuuluu Port Solutions segmenttiin. Konecranesin Port Solutions tarjoaa huipuluokan laitteita, ohjelmistoja ja palveluita telakoille, satamille sekä konttiterminalleille. (Konecranes, 2023d)

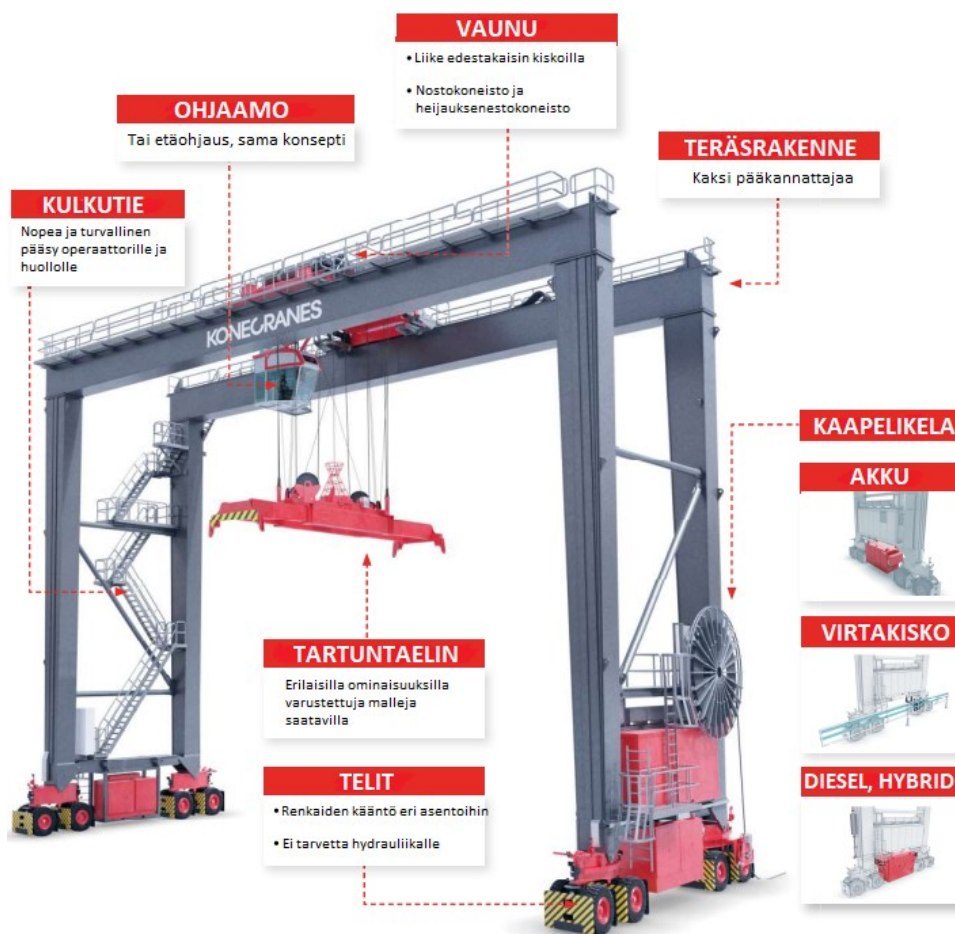
Port Solutionsin tuotteisiin kuuluu telakoille soveltuva Goliath pukkinosturi, jonka avulla voidaan nostaa esimerkiksi isoja laivojenlohkoja paikoilleen. Satamiin Konecranes tuottaa alabrändinä valmistettavat Gottwald Mobile Harbor Cranes nosturit, joilla pystytään nostamaan monia erilaisia taakkoja. Konttiterminalleihin lukeutuvat Rubber-Tired Gantry (RTG) ja Rail-Mounted Gantry (RMG) eli kumi-pyörä- sekä kiskopukkinosturit. Näistä nostureista on saatavilla myös automaattiversiot. Ship-to-Shore (STS) nosturit siirtävät puolestaan kontteja laivojen ja konttiterminalin välillä. (Konecranes, 2023d)



### 3 RTG-NOSTURI

#### 3.1 Nosturin rakenne

RTG-nosturi eli kumipyöräpukkinosturi on konttiterminaaleihin kuuluva konttienkäsittelynosturi. Nostureiden kokoa ja toimintoja saadaan muokattua monipuolisesti asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Konecranes valmistaa nostureita 8- tai 16-pyöräisinä ja niiden nostokapasiteetti on 40,6 tai 50,8 tonnia asiakkaiden valinnan mukaan (Konecranes, RTG). Opinnäytetyössä mallinnus tehdään RTG-nosturin nostokoneistosta. Kuvassa 4 nähdään yleiskuva nosturista ja sen päämoduulit tarkemmin.



KUVA 4. RTG-nosturin rakenne (Konecranes, RTG, muokattu)

Teräsrakenteiset pääkannattimet ja jalkakehät muodostavat nosturin rungon, jota kutsutaan pukiksi. Jalkakehiin on kiinnitetty telit, joiden alla on kumirenkaat. Telien avulla renkaiden asentoja saadaan käännettyä haluttuun ajosuuntaan tai parkkiasentoon. Kaikki muut nosturin komponentit, kuten valittu tehonsyöttö, sähköhuone, sähkökaapit ja vaunu kiinnitetään pukkiin. Nosturi saa käyttövirran dieselgeneraattorista, hybridipaketista (diesel ja akkupaketti), kaapelikelasta tai virtakiskosta. Kaikki edellä mainitut tehonsyötön ratkaisut ovat myös saatavilla jälkiasennettuina.

Vaunu on pääkannattimien päällä kiskoilla kulkeva osa, josta löytyvät vaunun sähkökaapit ja siirtokoneisto, nostokoneisto sekä heijauksenestokoneisto. Nostokoneistojen köysillä on kiinnitetty nosturin tartuntaelin, jossa on teleskooppirakenne mahdollistamaan eri mittaisten konttien liikuttamisen. Vaunun rakenteeseen on myös kiinnitetty nosturin operaattorille tarkoitettu ohjaamo.

## 3.2 Sähkökäytöt

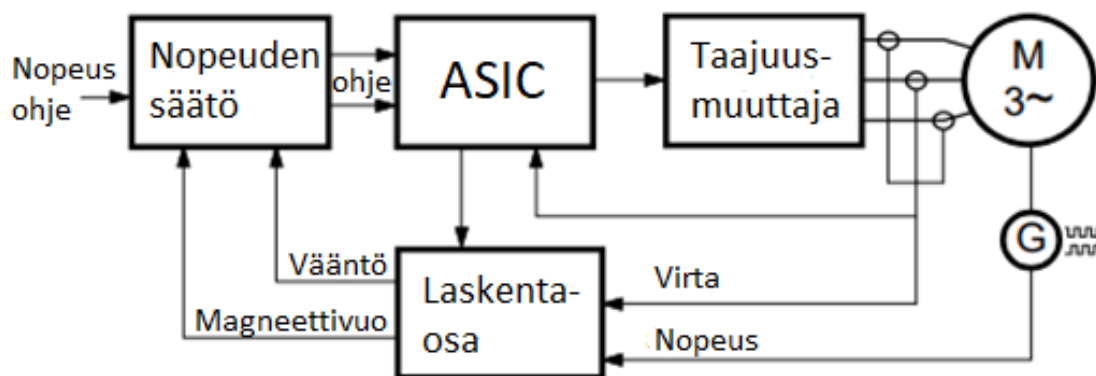
Nosturin liikkeet tapahtuvat taajuusmuuttajaohjatuilla vaihtosähkömoottoreilla. Näiden avulla mahdollistetaan portaaton nopeudensäätö nosturin liikkeisiin. Konecranes käyttää nostureissaan omia DynA Vector II tuoteperheen taajuusmuuttajia, jotka on kehitetty yhteistyössä Vacon Oy:n (Nykyään osana Danfoss-konsernia) kanssa. Taajuusmuuttajat on suunniteltu erityisesti nosturikäyttöön, jolloin ne mahdollistavat optimaalisen suorituskyvyn, kustannukset, turvallisuuden ja lisäävät tuottavuutta sekä käyttöikää.

### 3.2.1 DynAHoist taajuusmuuttaja

Nostokoneiston toimintoihin on kehitetty DynAHoist (D2H) taajuusmuuttaja, joka sisältää monia ominaisuuksia juuri nostureiden oleellisiin tarpeisiin. DynAHoist sisältää jarrukontaktorin mekaaniseen jarrujen hallintaan ja oman DC-tasasuuntaajan. Se on varustettu myös ulkoisella vastuksella vastusjarrutusta varten ja jarrutransistorilla, joka on mitoitettu nosturisovellukseen. DynAHoistia voidaan ohjata elektronisella potentiometriohjauksella kaksiportaisella painikkeella, potentiometriohjauksella analogisella joystickilla, automaatio ohjauksella PLC:llä, radio-ohjauksella ja moniportaisella ohjaimella. (Konecranes, Intranet)

DynAHoistissa on sisäänrakennetut hidastus- ja pysäytysrajakytkintoiminnot molempiin ajosuuntiin. Se sisältää nopeusvalvontayksikön (SSU), joka on erillinen taajuusmuuttajasta eikä ole riippuvainen ohjelmistosta. Tällaista turvapiiriä käytetään moottorin nopeudenvälvontään. Ylinopeuden, nopeuseron tai sakkauksen sattuessa valvontayksikkö pysäyttää liikkeen välittömästi sulkemalla mekaanisen jarrun ja kytkemällä virran moottoriin. DynAHoist sisältää myös moottorin lämpösuojaan, joka perustuu moottorin lämpötilamittaukseen moottorin käämiin sijoitetuilla termistoreilla. (Konecranes, Intranet)

Taajuusmuuttajan kytkentä on toteutettu suljetun piirin vektoriohjaus periaatteella. Suljetun piirin vektoriohjaus perustuu virran ja nopeuden mittaamiseen. Kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Suljetun piirin vektoriohjaus (Konecranes, Intranet, muokattu)

DynAHOist sisältää sisäänrakennetun moottorimallin, joka laskee todelliset ohjearvot moottorille tuhat kertaa sekunnissa. Tarvittavat tiedot laskennalle ovat moottorilta mitattu virta ja hetkellinen jännite, joka saadaan ASIC:lta, eli mikropiiriltä. Moottorin magneettivuo ja akselin vääntömomentti lasketaan mallikohtaisilla tiedoilla. Moottorin tilatieto saadaan absoluuttianturilta. Ohjauksessa käytetään siis moottorin koordinaatteja laskennassa, mikä on virheettömin tapa tehdä laskelmia moottorista, sillä moottorin todellinen sijainti tiedetään jatkuvasti. (Konecranes, Intranet)



KUVA 6. DynAHOist taajuusmuuttaja nosturin sähköhuoneessa

## 4 TEOLLISUUDEN VIRTUALISOINTI

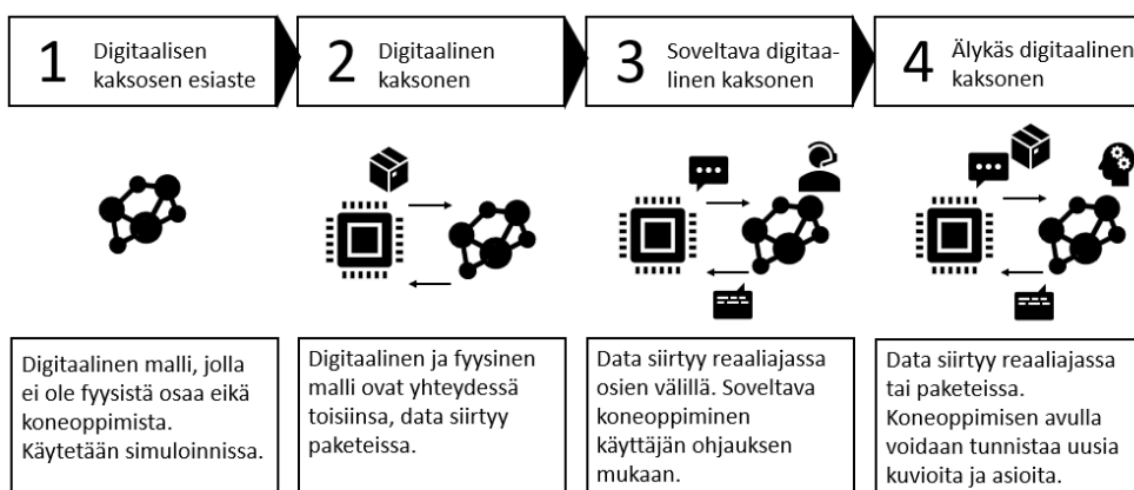
### 4.1 Virtuaalinen mallintaminen teollisuudessa

Konsepteja virtuaaliseen mallintamiseen teollisessa tuotannossa on hyödynnetty ja kehitetty jo 1980-luvulta lähtien. Ne ovat kehittyneet viimeisen 40 vuoden aikana yksittäisten kappaleiden 2D-suunnittelusta jopa kokonaisten laitteiden, tuotantolinjastojen ja tehtaiden simulointiin. Tietotekniikan teknologisen kehityksen ansiosta entistä monimutkaisempia prosesseja ja järjestelmiä voidaan käsitellä digitaalisesti. (Liu;Suchold;& Diedrich, 2012, s. 131)

### 4.2 Digitaalinen kaksonen

Digitaalinen kaksonen (Digital twin) on käytännössä fyysisen tuotteen tai prosessin virtuaalinen vastine, joka kerää dataa fyysiseltä osalta ja välittää myös tietoa takaisin fyysiseen osaan. Teknologian kehitys on johtanut monipuolisempaan ja tarkempaan käsitteeseen digitaalisesta kaksosesta. Nykyaikaiset määritelmät ovat kattavampia kuin alkuperäiset ja niissä on korostettu esimerkiksi digitaalisen kaksosen käyttökohteita ja reaaliaikaisuutta. (Elomatic, 2021)

Teknologian kehittyessä on tärkeää hahmottaa ja määritellä digitaalisen kaksosen käsite sekä jäljittää sen kehityskaari. Malli määritellään neljään eri kypsyytasoon: digitaalisen kaksosen esiaste, digitaalinen kaksonen, soveltava digitaalinen kaksonen ja älykäs digitaalinen kaksonen. Viitekehityksessä jokainen taso merkitsee etenemistä kaikkein yksinkertaisimmasta digitaalisesta mallista kohti monimutkaisimpia ja edistyneimpiä määritelmiä. Erot digitaalisten kaksosten välillä eli tasoilla 2–4 mallinnuksessa liittyvät mallin monimutkaisuuteen, datan määrään, siirtonopeuteen ja ajankohtaisuuteen, teknologian autonomiaan sekä mallin tarjoaman käyttökelpoisen informaation määrään. Mallin tasot ja niitä vastaavat kriteerit on esitetty kuvassa 7. (Elomatic, 2021)



KUVA 7. Digitaalisen kaksosen tasot (Elomatic, 2021)

Ensimmäisellä tasolla esidigitaalinen kaksonen ilmenee tyypillisenä digitaalisena mallina, usein virtuaalisena prototyyppinä. Tätä voidaan hyödyntää päätöksenteossa ja riskien minimoimisessa suunnittelun alkuvaiheessa. Tämän tason mallilla voidaan simuloida eri toimintoja, mutta mallilla ei ole fyysistä vastinetta. (Madni;Madni;& Lucero, 2019)

Toisen tason digitaalinen kaksonen sisältää fyysisen osan, jonka virtuaalinen osa vastaanottaa dataa paketeissa, joiden perusteella digitaalinen malli päivittää tietonsa. Tämä digitaalinen kaksonen helpottaa fyysisen osan skenaarioanalyysyjä, mahdollistaen ennustamisen ja muokkaamisen skenaarioista saatujen tietojen perusteella. (Madni;Madni;& Lucero, 2019)

Kolmannen tason sovelletulla digitaalisella kaksosella on sovellettava käyttöliittymä sekä fyysiselle että virtuaaliselle osalle. Käyttöliittymä ottaa huomioon käyttäjän mieltymykset ja valinnat monenlaisissa tilanteissa, perustuen hallittuun koneoppimis-algoritmiin. Virtuaalimalli tarjoaa jatkuvaa ja ajantasaista tietoa fyysisestä osasta, minkä lisäksi tietoa voidaan tuoda paketeissa käytön jälkeen. Tämän tasoista digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää ajankohtaisessa suunnittelussa ja päätöksenteossa. (Madni;Madni;& Lucero, 2019)

Neljännän tason digitaaliseen kaksoseen sisältyvät kaikki kolmannen tason ominaisuudet, minkä lisäksi siinä käytetään kehittyneempää koneoppimista. Älykäs digitaalinen kaksonen on korkeamman autonomian tasolla ja käyttää koneoppimista havaitsemaan uusia ilmiöitä ja malleja. Tätä käytetään fyysisen osan tietojen yksityiskohtaisempaan analysointiin. (Madni;Madni;& Lucero, 2019)

### 4.3 Virtuaalinen käyttöönotto

Digitalisoinnin yksi keskeisistä aiheista on virtuaalinen käyttöönotto. Automaatiojärjestelmän käyttöönotto on tärkeä vaihe, jonka avulla voidaan selvittää vastaavtko järjestelmät ja komponentit käyttäjän vaatimuksia suunnittelun, valmistuksen ja asennuksen osalta. Tämä vaihe on kuitenkin käytännössä tunnettu aikaa vievänä ja kustannuksiltaan suurena, mitä voitaisiin parantaa virtuaalisen käyttöönoton avulla. (Liu;Suchold;& Diedrich, 2012, s. 132)

Virtuaalinen käyttöönotto tarkoittaa automaatiojärjestelmien testaamista, varmentamista ja validointia käyttämällä digitaalista mallia laitteesta tai kokonaisesta laitteistosta. Se mahdollistaa komponenttien, ohjausjärjestelmän ja prosessin välisen toiminnan testaamisen erilaisissa skenaarioissa ennen todellista käyttöönottoa. Tämän avulla saadaan lyhennettyä kehitys- ja testausaikaa sekä vähennetään riskejä ja mahdollisia vahinkoja fyysisen käyttöönoton aikana. Digitaalisen mallin ja ohjausjärjestelmän hyödyntäminen ulottuu myös virtuaalista käyttöönottoa pidemmälle. Se toimii tekijälle myös myöhemmin uudelleenkäytettävänä resurssina suunnitteluun ja erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten laitteen seurantaan ja ennakoivaan huoltoon. (MathWorks, ei pvm)

## 5 SIMULAATIO

### 5.1 Yleisesti

Simulaatiolla tarkoitetaan olemassa olevien prosessien tai järjestelmien jäljittämistä. Tekniikassa simulointi tapahtuu usein simulointimallilla tai samoin käyttäytyvällä sähköisellä analogiakytkenä. Simulointimallin avulla voidaan tutkia monia erilaisia kysymyksiä järjestelmään liittyen. Systemin muutoksia voidaan ensin simuloida, jotta voidaan ennustaa niiden vaikutus järjestelmän toimintaan ja suorituskykyyn. Simulointimallia voidaan siis käyttää analyysityökaluna vanhojen ja nykyisten järjestelmien muutosten vaikutusten tutkimiseen sekä suunnittelutyökaluna uusien järjestelmien ennustamiseen erilaisissa tilanteissa. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2005, s. 3)

Erilaisten simulointiratkaisujen saatavuus, kehitys ja matalat käyttökustannukset ovat tehneet simulaatiosta entistä yleisemmän työkalun. Simulointi mahdollistaa monimutkaisen järjestelmän tai osajärjestelmän sisäisten vuorovaikutusten tutkimisen ja testaamisen. Simulaation tulossignaalien muuttaminen ja tämän tuloksena ilmenevien lähtösignaalien havainnointi antaa tietoa siitä, mitkä muuttajat ovat tärkeimpiä ja miten ne vaikuttavat toimintaan. Myös koneiden eri ominaisuuksien ja toimintojen simulointi voi auttaa niiden vaatimusten määrittelemisessä. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2005, s. 4)

### 5.2 Simulointimalli

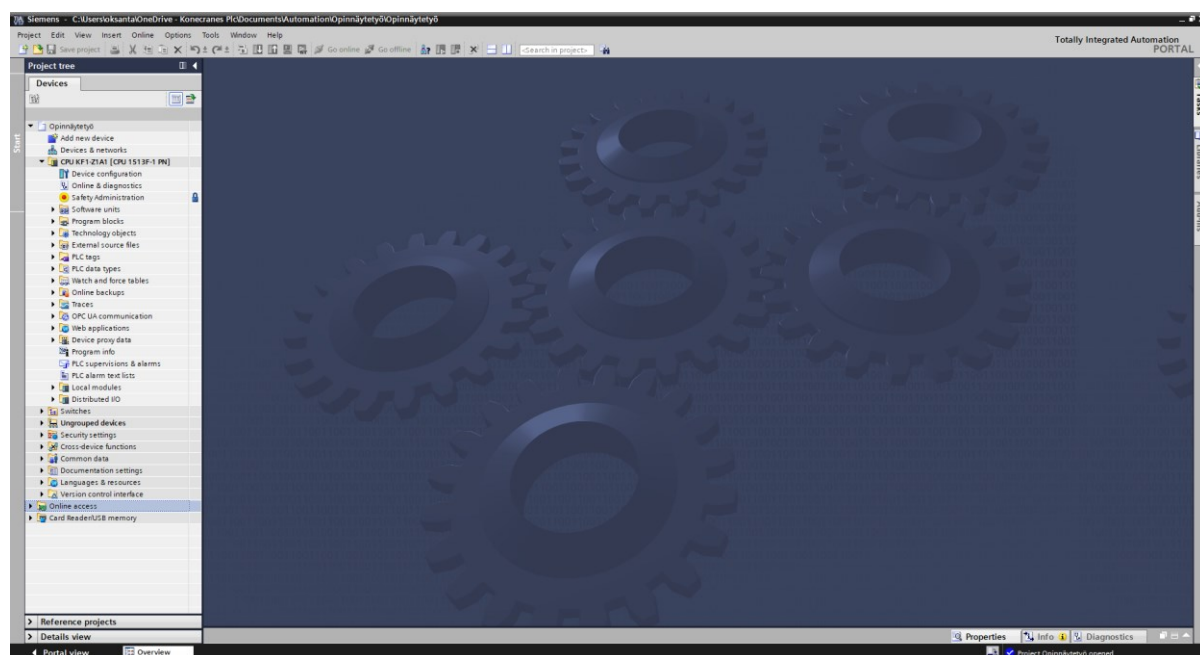
Opinnäytetyössä simulaatioalustalle tehtävä mallinnus vastaa digitaalisten kaksosten tasoista ensimmäistä tasoa, eli digitaalisen kaksosen esiasetetta, koska sillä ei ole fyysistä vastinetta. Vaikka simulointimalli ei vastaa täydellisesti toimivaa digitaalista kaksosta, sitä voidaan käyttää oikeaan käyttöön kuluvan ajan lyhentämiseksi, virheiden havaitsemiseksi ja kustannusten vähentämiseksi. Nosturin käyttöönotto ja testaus on vaiheittain edistyvä prosessi, ensin koodin tekeminen ja oikeellisuuden tarkistus, seuraavaksi liikkeiden toimivuuden varmistus tehdasteilla ja viimeisenä todellinen käyttöönotto kohteessa, jossa nosturi on kasattuna. Suurin osa ongelmista ilmenee tietenkin todellisen käyttöönoton aikana, kun nosturin kaikki komponentit ja laitteet saadaan yhdistettyä lopullista toimintojen testausta varten.

## 6 KÄYTETTÄVÄT OHJELMISTOT

### 6.1 TIA-Portal

TIA-Portal (Totally Integrated Automation) on Siemensin kehittämä ohjelmisto automaatiotuotteiden ohjelmointiin ja konfigurointiin. Se integroi erilaisia suunnittelutyökaluja yhdeksi alustaksi, jonka avulla saadaan yhtenäinen käyttöliittymä esimerkiksi PLC (Programmable Logic Controller) -ohjelmointille, HMI (Human Machine Interface) -suunnittelulle ja liikkeenohjausten konfiguroinnille. TIA-Portal on suunniteltu skaalautuvaksi, joten se sopii hyvin pieniin ja suuriin automaatioprojekteihin. Siinä on myös omat simulointi- ja testausominaisuudet ohjelmoidun ohjelman validointia varten ennen sen käyttöönottoa varsinaiseen laitteistoon. Lisäksi se sisältää työkalut automaatiojärjestelmien seurantaan ja diagnosointiin, mikä auttaa tunnistamaan ja ratkaisemaan ongelmia sujuvasti. (Siemens, ei pvm)

Opinnäytetyössä käytetään TIA-Portal V17 -versiota, jonka Siemens on julkaissut vuonna 2021 tammikuussa.

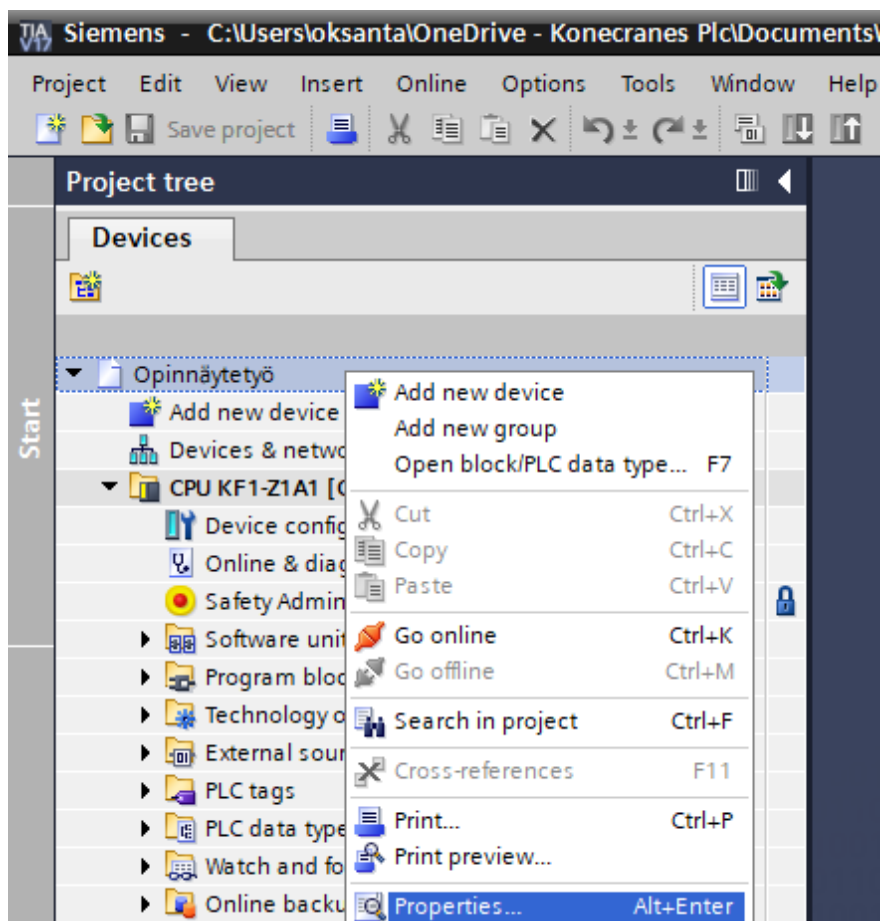


KUVA 8. TIA-Portal V17 projektinäköymä

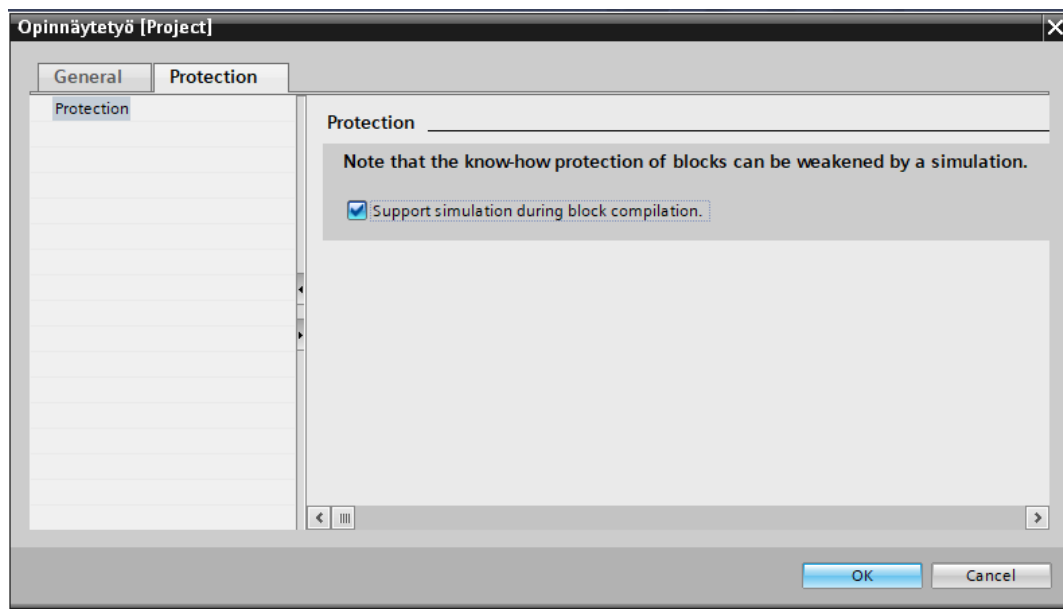
TIA-Portal V17 tarjoaa kuusi erilaista ohjelmointikieltä käytettäväksi, jotka ovat LAD (Ladder), FBD (Function Block Diagram), SCL (Structured Control Language), STL (Statement List), GRAPH ja CEM (Cause Effect Matrix). (Siemens, 2021a, s. 5)

Simulaatiota käytettäessä TIA-Portalin kanssa, on otettava käyttöön simulointiominaisuudet. Tämä ei ole automaattisesti valittuna, joten sen valinta on tehtävä aina projektikohtaisesti. Asetus löytyy projektin ominaisuuksista "Protection" välilehdeltä. (Siemens, 2021b, s. 19)





KUVA 9. Projektin ominaisuuksien valinta TIA-Portal projektissa



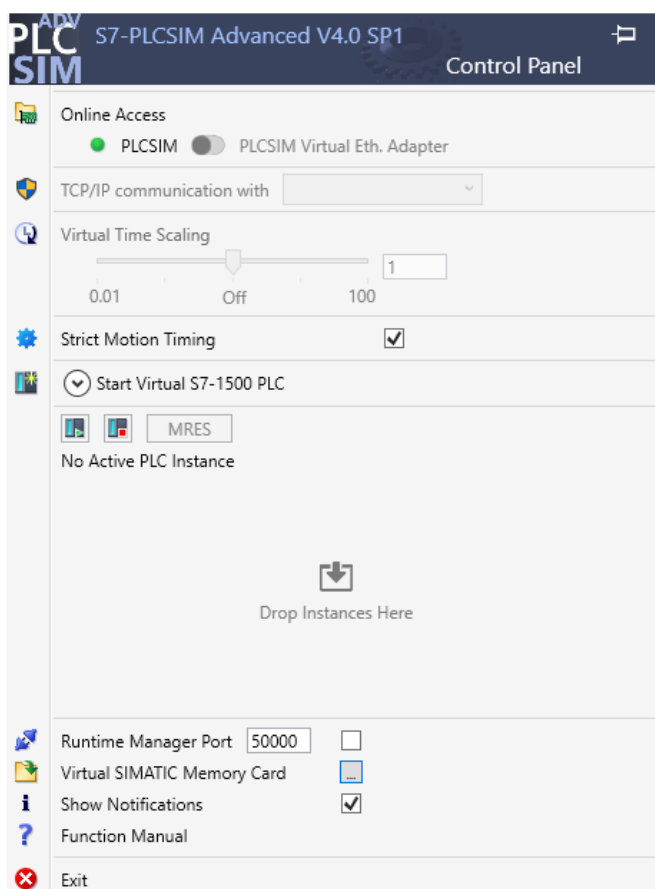
KUVA 10. Simulointiominaisuuden käyttöönotto TIA-Portal projektissa



## 6.2 PLCSIM Advanced

PLCSIM Advanced on Siemensin simulaatiotyökalu osana TIA-Portal ohjelmistokokonaisuutta. Sitä käytetään virtuaalisten ohjaimien avulla PLC-ohjelmien simulointiin ja testaamiseen ennen niiden käyttöönottoa fyysiseen laitteistoon. Sen sovellusalueisiin kuuluu myös software-in-the-loop tekniikan avulla erilaisten tuotantokoneiden, -solujen ja -linjojen virtuaalinen käyttöönotto. Softbus kommunikoinnin lisäksi PLCSIM Advanced tarjoaa myös Ethernet-yhteyden ja pystyy siten viestiä hajautusti. (Siemens, 2021b, s. 16)

Opinnäytetyössä käytetään toukokuussa vuonna 2021 julkaistua PLCSIM Advanced V4.0 versiota, jossa käytetty V2.9 firmware on yhteensopiva TIA-Portalin versioiden V14 – V17 kanssa. On myös huomioitava, että PLCSIM Advanced toimii vain S7-1500 ja ET200SP logiikkaohjaimien kanssa. (Siemens, 2021b, s. 17)



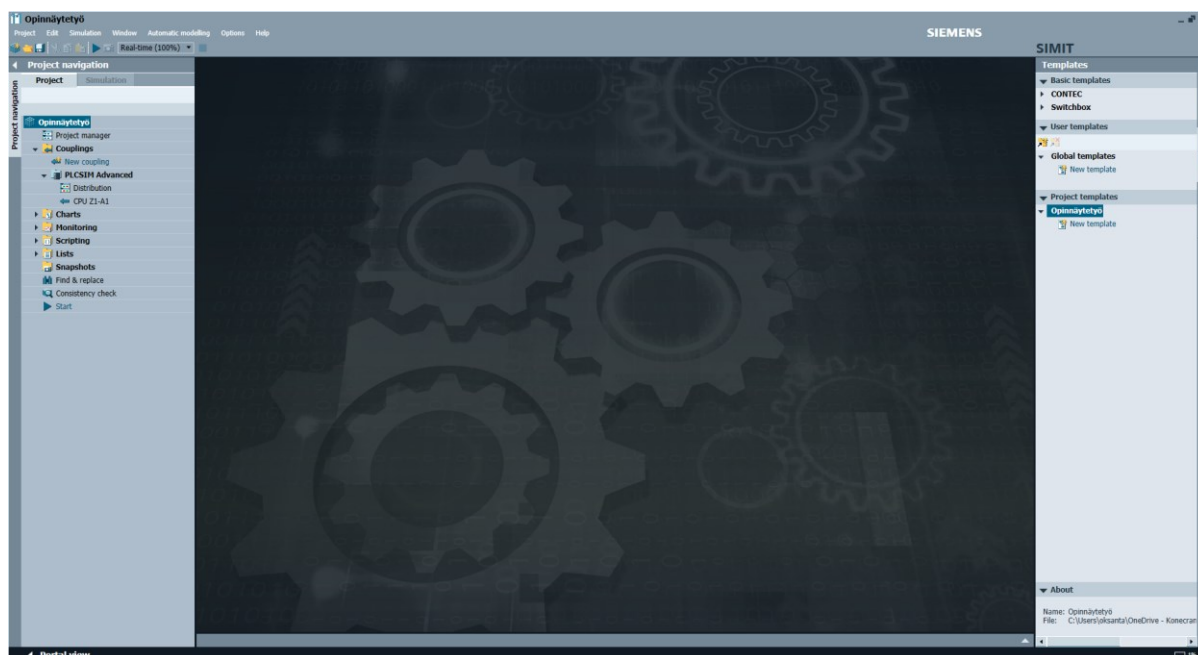
KUVA 11. PLCSIM Advanced V4.0 aloitusnäky

### 6.3 SIMIT Simulation Platform

SIMIT SP on Siemensin kehittämä ohjelmisto, jonka avulla voidaan tehdä simulaatioita yhdellä alustalla mahdollistaen automaatioprojektien kattavat testaukset sekä järjestelmien, koneiden ja prosessien virtuaalisen käyttöönoton. Lisäksi sitä voidaan käyttää realistisissa koulutusympäristöissä käyttökoulutuksen kouluttamiseen. SIMIT:n avulla voidaan luoda simulaatiomalli koneista tai laitteistokokonaisuudesta ja täten luoda perusta digitaaliselle kaksoselle. SIMIT tarjoaa helpon käytettävyyden, yksinkertaisen simulaatiomallinnuksen sekä enemmän suorituskykyä, avoimuutta ja joustavuutta. (Siemens, 2019)

SIMIT:n avulla voidaan testata turvallisesti ja tehokkaasti kaikki asiaankuuluvat automaatiotoiminnot ennen varsinaista automaatio-ohjelmien käynnistystä. Liitännät simulointi- ja automaatioympäristön välillä voidaan tehdä automaatiojärjestelmien todellisella laitteistolla (hardware-in-the-loop) ja integroidulla virtuaaliohjaimella tai PLCSIM Advancedilla ja siten ilman todellista laitteistoa (software-in-the-loop). SIMIT:n integroitu projektianalyysi visualisoi rajapintoja, mallikokoja, kaavioita ja muita vastaavia. Sovellus tarjoaa myös monia tuotevalikoimia simulaatiokomponenteista halutuille toimialoille. (Siemens, 2019)

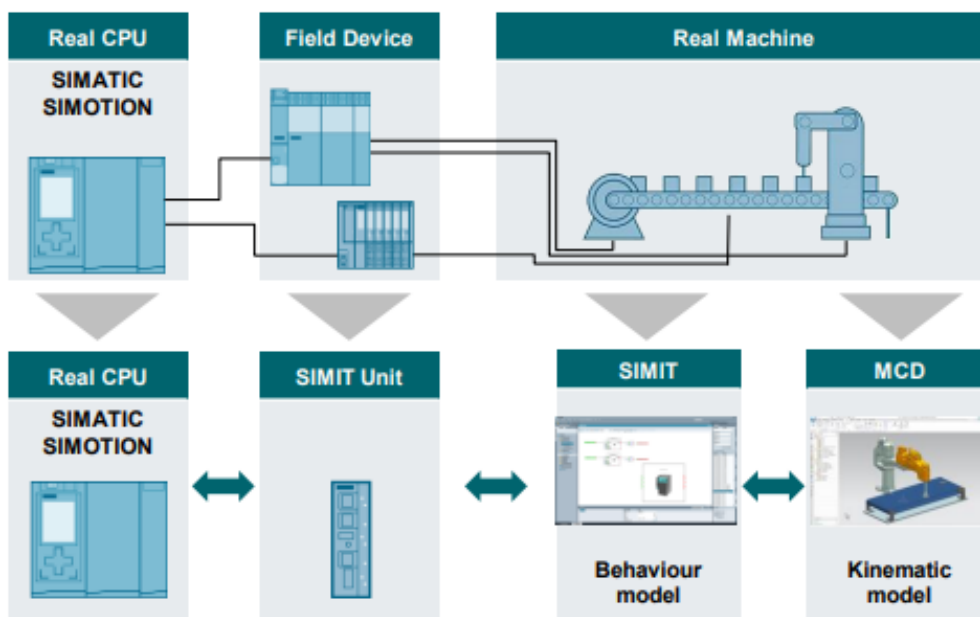
Opinnäytetyössä käytetään SIMIT SP V11.0 versiota, joka on julkaistu kesäkuussa vuonna 2022.



KUVA 12. SIMIT SP V11.0 projektinäkömä

#### 6.3.1 Hardware-in-the-loop

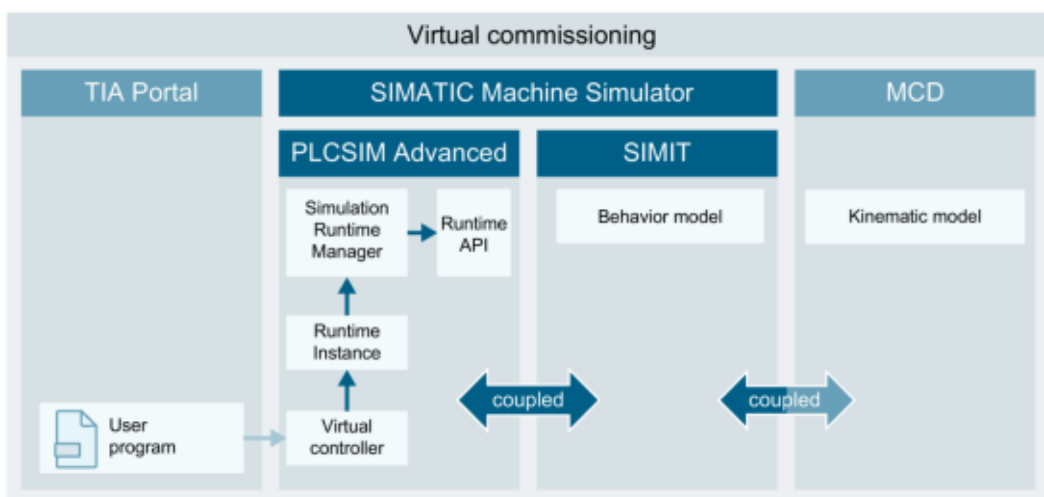
HiL eli hardware-in-the-loop simulointi käyttää oikeaa ohjelmoitavaa logiikkaa simuloitavan prosessin ja kenttälaitteiden ohjaukseen. Tämä simulointitekniikka on mahdollista, kun Siemensin logiikkaa ja SIMIT:iä käytetään yhdessä SIMIT UNIT:n kanssa. Se yhdistää oikean ohjelmoitavan logiikan, kenttälaitteet ja tietokoneen simulointiohjelmistot. Kuva 13 havainnollistaa HiL simulointimenetelmän rakennetta yleisesti. (Siemens, 2018, s. 4)



KUVA 13. Hardware-in-the-loop tekniikan rakenne (Siemens, 2018, s. 4)

### 6.3.2 Software-in-the-loop

SiL eli software-in-the-loop simuloinnissa koko järjestelmä ja sen ohjaukset simuloidaan kokonaisuudessaan simulointiohjelmilla. Tällöin oikeita laitteita ei tarvita, sillä järjestelmä mallinetaan täysin virtuaalisesti. SiL:n käyttö mahdollistaa ratkaisujen testaamisen ja validoinnin virtuaalisessa simulointiympäristössä, auttaen tunnistamaan järjestelmätason vikoja tai virheitä jo kehitysvaiheessa. (Opal-RT, 2022)



KUVA 14. Software-in-the-loop tekniikan rakenne (Siemens, 2022a, s. 9)

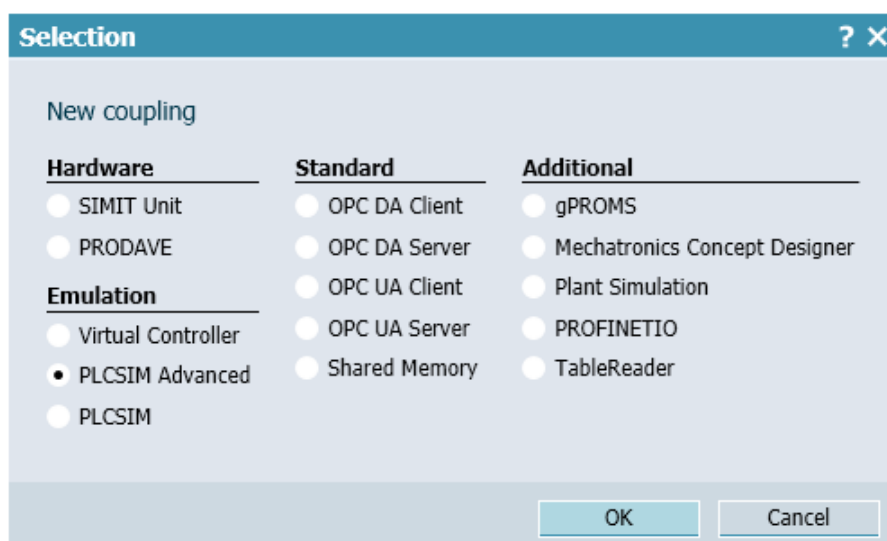
Opinnäytetyössä käytetään SiL simulointitekniikkaa, mutta kuvasta 14 poiketen työssä ei ole Siemensin NX MCD:llä tehtyä kinematiikkamallia.

## 7 SIMULOINTIMALLIN LUONTI SIMIT-OHJELMISTOLLA

Opinnäytetyössä luodaan simulointimallit nostokoneiston taajuusmuuttajista SIMIT-ohjelmistolla. Työssä käytetään Konecranesin sovelluksia, tarvikkeita ja tietokantaa. Nostokoneiston taajuusmuuttajat mallinnetaan ja verifioidaan käyttämällä oikean nosturiprojektin koodia, dataa sekä toimintoja.

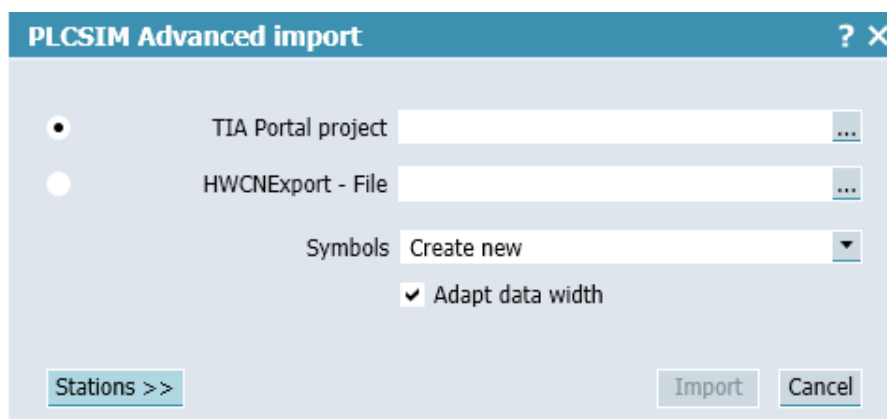
### 7.1 Ohjelmistojen liitettä

SIMIT tukee monia erilaisia liitännätapoja. Siihen on mahdollista esimerkiksi yhdistää simuloituja sekä fyysisiä Siemensin logiikoita ja prosessiasemia. Työssä käytetään PLCSIM Advanced liitännää, jonka avulla SIMIT vaihtaa syklimäisesti tietoja konfiguroidusta S7-1500 sarjan logiikan I/O:sta. Tätä liitännätapaa käyttäessä on huomioitava, että ohjelmistot on oltava asennettuina samalle tietokoneelle. (Siemens, 2022b, s. 155)



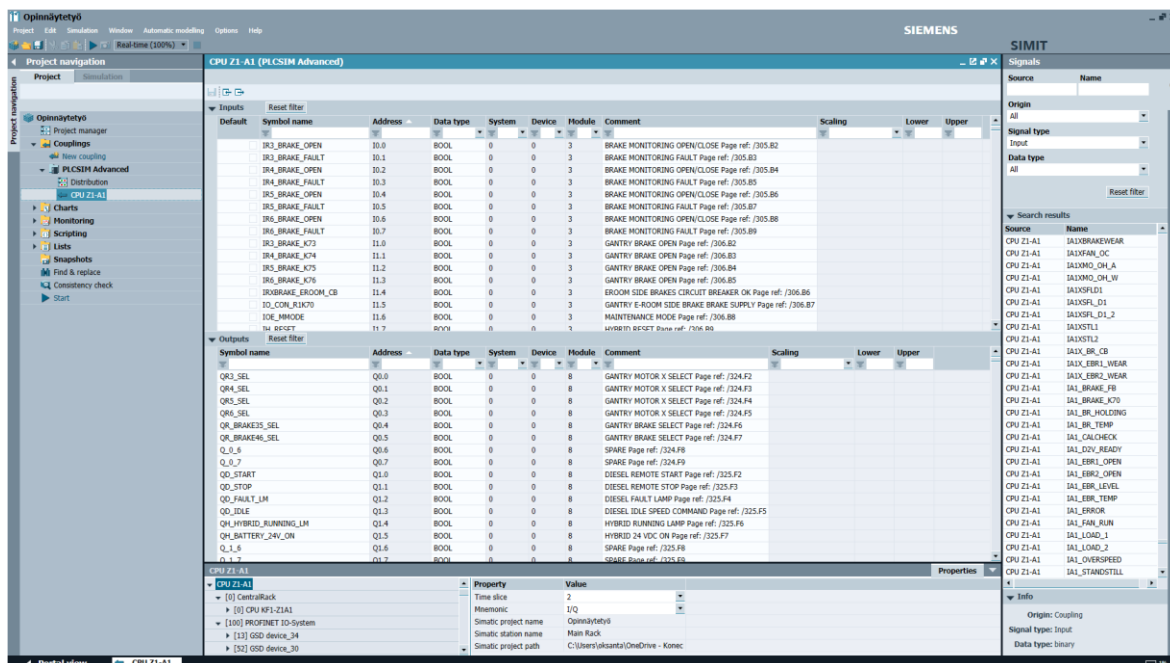
KUVA 15. Liitännätavan valintaikkuna

PLCSIM Advanced liitännällä SIMIT:iin saadaan tuotua suoraan nosturin TIA-Portal projekti. Projekti voidaan tuoda myös .XML-tiedostona HWCN Exporter -ohjelman avulla. HWCN Exporter tulee automaattisesti SIMIT-ohjelman asennuksen yhteydessä.



KUVA 16. PLCSIM Advanced konfiguraation valintaikkuna

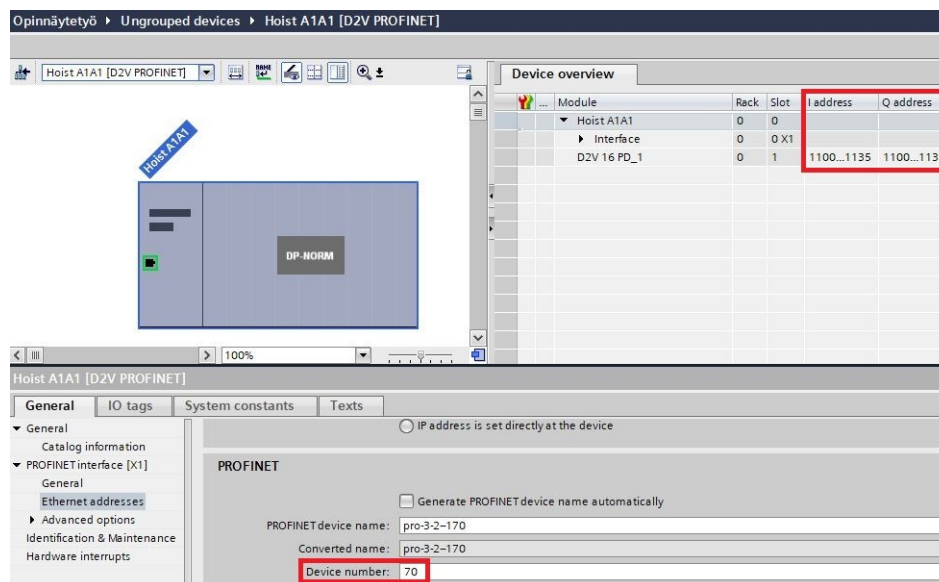
Lisätty laitekonfiguraatio tuo SIMIT:iin TIA-Portal projektista käytetyn logiikan I/O-rajapinnan ja kaikki tulojen ja lähtöjen nimet sekä kommentit PLC koodista. Näitä nimiä voidaan muokata SIMIT simulointiprojektissa, mutta uusien I/O-pisteiden tuominen edellyttää aina muutetun TIA-Portal projektin uudelleenlisäämistä.



KUVA 17. PLCSIM Advanced liitännällä tuotu I/O-rajapinta

### 7.1.1 Taajuusmuuttajien rajapinnan tuonti

TIA-Portal ei tuo SIMIT:iin automaattisesti PROFINET-väylässä olevien laitteiden I/O:ta. Tämän takia taajuusmuuttajan rajapinnasta tarvittavat muuttajat joudutaan manuaalisesti kirjoittamaan oikeisiin tulo- ja lähtösignaaleihin SIMIT:n puolelle. Ensimmäisenä katsotaan TIA-Portalista nostojen taajuusmuuttajien laitenumero ja niiden käyttämät I/O-alueet. Alla olevassa kuvassa on näiden tietojen selvitys nähtävillä ensimmäisen noston (Hoist A1) taajuusmuuttajan osalta.



KUVA 18. Hoist A1 taajuusmuuttajan laitenumero ja I/O-alueet

Tämän jälkeen saadaan katsottua koodin datablokeista tarvittavat tulot ja lähdöt nostokoneistojen simulointia varten ja laitettua ne oikeille osoitteilleen SIMIT:n puolelle.

**CPU Z1-A1 (PLCSIM Advanced)**

▼ Inputs Reset filter

Default	Symbol name	Address	Data type	System	Device	Module
<input type="checkbox"/>		I1100.0	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1100.1	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1100.2	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1100.3	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>	Hoist A1-A1_Status_Ready	I1100.4	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>	Hoist A1-A1_Status_Brake_control	I1100.5	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1100.6	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1100.7	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1101.0	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1101.1	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1101.2	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1101.3	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1101.4	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1101.5	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1101.6	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1101.7	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1102.0	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1102.1	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1102.2	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1102.3	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1102.4	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1102.5	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1102.6	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1102.7	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1103.0	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>	Hoist A1-A1_Status_VA_Run	I1103.1	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1103.2	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>	Hoist A1-A1_Status_VA_DriveOK	I1103.3	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>	Hoist A1-A1_Status_VAM_DIR1_Motor	I1103.4	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>	Hoist A1-A1_Status_VAM_DIR2_Motor	I1103.5	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1103.6	BOOL	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1103.7	BOOL	100	70	1
0	Hoist A1-A1_PD1_Speed	IW1104	INT	100	70	1
<input type="checkbox"/>		I1106.0	BOOL	100	70	1

► Outputs Reset filter

**CPU Z1-A1**

Property	Value
Device	Hoist 1
HW Identifier	558

KUVA 19. Hoist A1 tarvittavat tulot SIMIT:iin

SIMIT luo automaattisesti määrittelemättömille I/O-alueille signaalien datatyypeiksi bool (boolean), joka on yhden bitin kokoinen. Tuloihin tarvitaan myös taajuusmuuttajan nopeus, jonka datatyyppi on puolestaan int (integer). Integer esiintyy kokonaislukuna ja se on kooltaan kahden tavun, eli 16 bitin kokoinen. Tällainen datatyyppin muunnos onnistuu SIMIT:ssä maalaamalla tarvittava määrä bittejä ja hiiren oikealla painikkeella valitsemalla niiden yhdistäminen.

CPU Z1-A1 (PLCSIM Advanced)					
Inputs <span>Reset filter</span>					
Outputs <span>Reset filter</span>					
Symbol name	Address	Data type	System	Device	Module
	Q1100.0	BOOL	100	70	1
	Q1100.1	BOOL	100	70	1
	Q1100.2	BOOL	100	70	1
	Q1100.3	BOOL	100	70	1
Hoist A1-A1_Ctrl_S12	Q1100.4	BOOL	100	70	1
Hoist A1-A1_Ctrl_S22	Q1100.5	BOOL	100	70	1
	Q1100.6	BOOL	100	70	1
	Q1100.7	BOOL	100	70	1
Hoist A1-A1_Ctrl_S1	Q1101.0	BOOL	100	70	1
Hoist A1-A1_Ctrl_S2	Q1101.1	BOOL	100	70	1
	Q1101.2	BOOL	100	70	1
	Q1101.3	BOOL	100	70	1
	Q1101.4	BOOL	100	70	1
	Q1101.5	BOOL	100	70	1
	Q1101.6	BOOL	100	70	1
	Q1101.7	BOOL	100	70	1
	Q1102.0	BOOL	100	70	1
	Q1102.1	BOOL	100	70	1
	Q1102.2	BOOL	100	70	1
	Q1102.3	BOOL	100	70	1
	Q1102.4	BOOL	100	70	1
	Q1102.5	BOOL	100	70	1
	Q1102.6	BOOL	100	70	1
Hoist A1-A1_Ctrl_Run_Disabled	Q1102.7	BOOL	100	70	1
	Q1103.0	BOOL	100	70	1
	Q1103.1	BOOL	100	70	1
	Q1103.2	BOOL	100	70	1
	Q1103.3	BOOL	100	70	1
	Q1103.4	BOOL	100	70	1
	Q1103.5	BOOL	100	70	1
	Q1103.6	BOOL	100	70	1
	Q1103.7	BOOL	100	70	1
Hoist A1-A1_REF1_Speed	QW1104	INT	100	70	1
	Q1106.0	BOOL	100	70	1

CPU Z1-A1		Property	Value
▼ [100] PROFINET IO-System			
▶ [13] GSD device_34		Device	Hoist 1
▶ [52] GSD device_30		HW Identifier	558
▶ [70] Hoist 1			
▶ [71] Hoist 2			

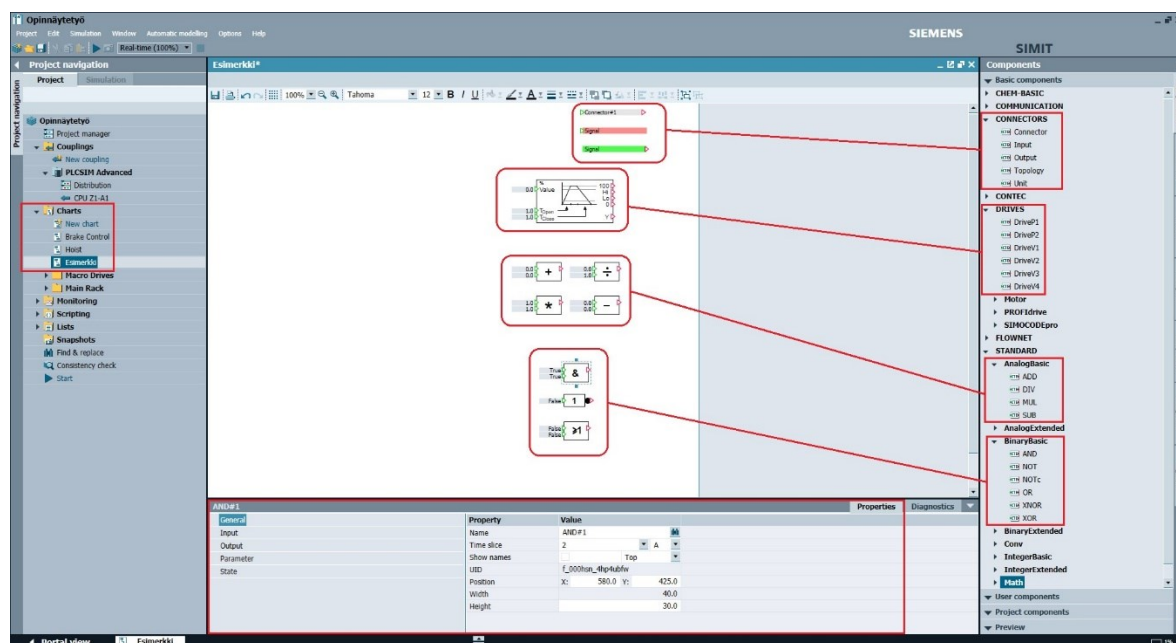
KUVA 20. Hoist A1 tarvittavat lähdöt SIMIT:iin

Lähtöihin puolestaan tarvitaan nopeusohje, jonka vuoksi tehdään myös datatyyppin muunnos booleanista integeriksi.

## 7.2 Ohjelmakaavioiden luonti

Simuloinnin toiminnot ja toiminnallisuudet voidaan määrittellä Chart -ohjelmakaavioissa. SIMIT sisältää komponenttikirjaston, josta löytyy laaja valikoima erilaisia lohkoja, jotka soveltuvat muun muassa laskutoimituksiin ja sähkökäyttöjen toiminnallisuuksien määrittämiseen. Kirjastosta löytyy valmiita toimintoja signaalien käsittelyyn, datatyypin muuntamiseen ja erilaisten laskukaavojen käyttöön. Erilaisia komponenttikirjastoja on myös mahdollista ladata lisää käyttöön käyttäjä- tai projekti-kohtaisesti.

Komponentteja lisätään ohjelmakaavioon raahaamalla ne sivusta löytyvästä Components -välilehdeltä ohjelmakaavioon. Komponenttien nimet, liitännät ja parametrit ovat muokattavissa alareunassa sijaitsevassa Properties -ikkunassa, joka tulee näkyviin kaavioon lisättyä komponenttia klikkaamalla (KUVA 21). Signaalien lisääminen tulo- ja lähtökomponenteille tapahtuu samalla tavalla. Signals -välilehdeltä löytyy PLCSIM Advancedilla tuotu I/O-lista.



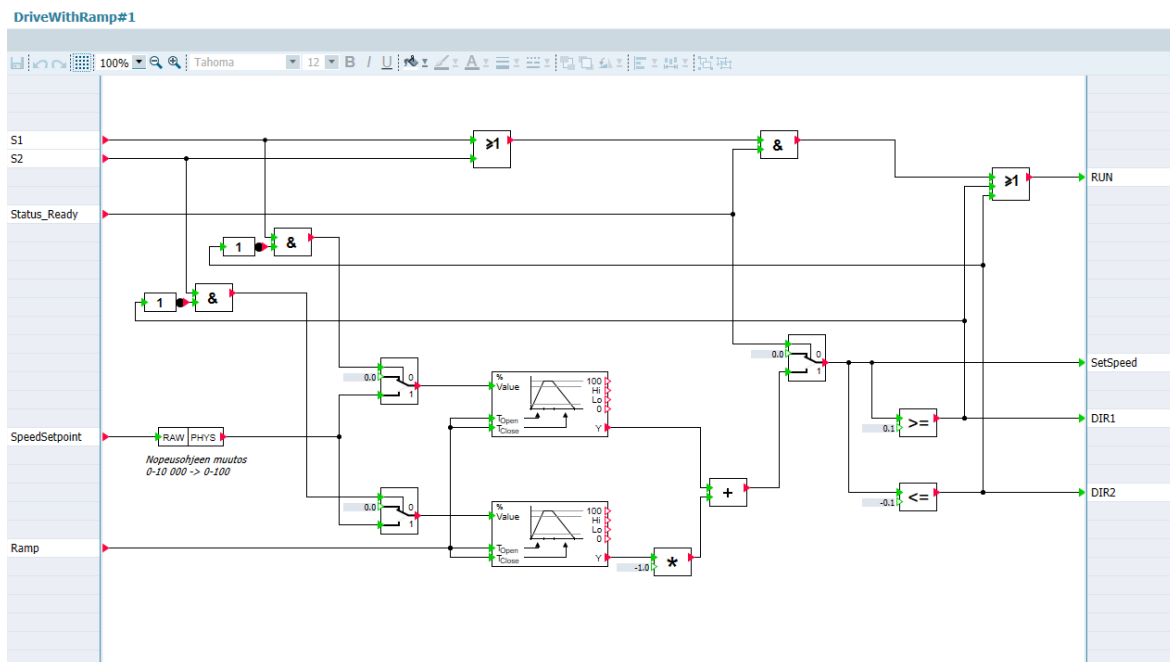
KUVA 21. Chart -ohjelmakaavio ja komponenttikirjasto

### 7.2.1 Taajuusmuuttajien simulointimalli

Samanlaisten toimintojen käyttöä ohjelmakaavioissa voidaan helpottaa makrojen avulla. Makrolohkoille saadaan määritettyä simulointipiirin lisäksi siihen tulevat signaalit sekä lähtevät signaalit halutuilla nimillä, jotka löytyvät makrolohkojen reunoilta. Taajuusmuuttajien rakenteen simulointiin hyödynnetään makroa, sillä komponenttikirjaston valmiita Siemensin sähkökäyttöjen komponentteja ei voida käyttää, niiden ollessa yhteensopimattomia työssä käytettävien Konecranesin omien taajuusmuuttajien rakenteiden takia.

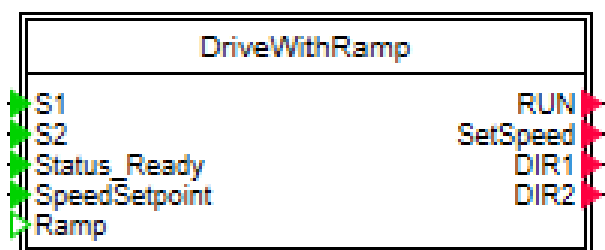
Kuvan 22 kaaviossa on nähtävillä ajon suuntavalinnat, taajuusmuuttajan valmius- ja käyttilan tiedot, nopeusohje skaalauksineen sekä kiihdytys- ja hidastusajan asetukset.





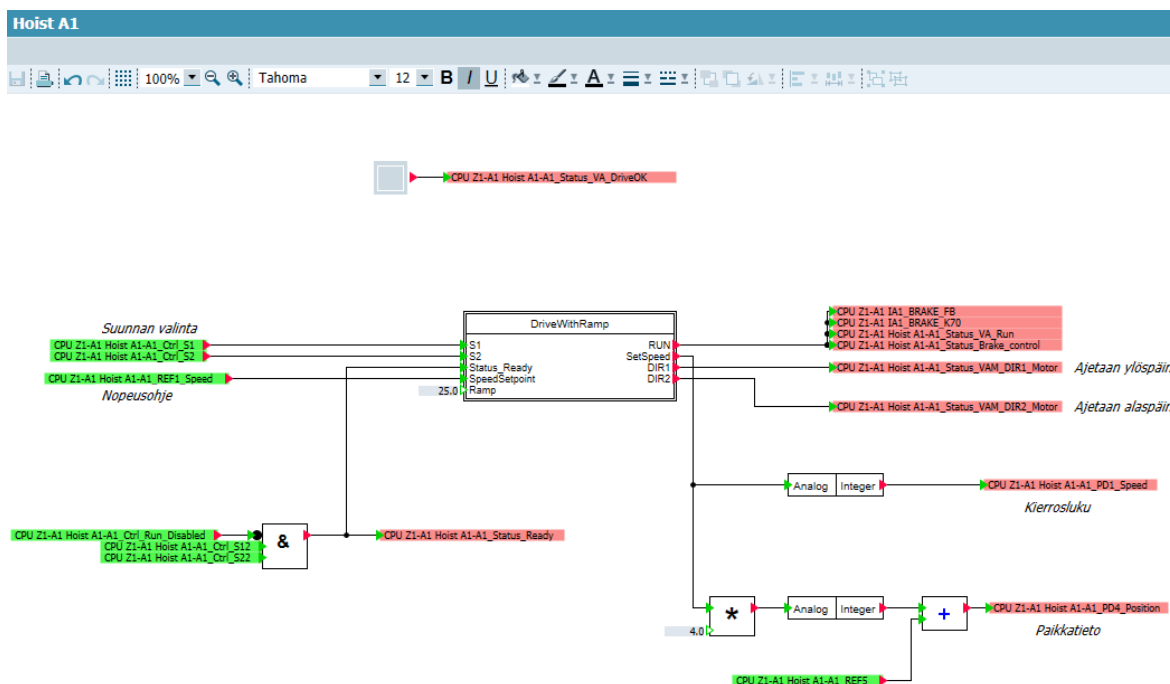
KUVA 22. Nostokoneiston taajuusmuuttajien rakenne makrolohkolla

Luotu makro on yksilöllinen ja sen toiminnallisuus säilyy aina samanlaisena. Makroja voidaan käyttää useasti eri ohjelmakaavioissa. Makrojen avulla monimutkaisista simulointipiireistä saadaan huomattavasti yksinkertaisempia. Alla on nähtävissä makron muodostama ohjelmalohko, jota voidaan käyttää simulointipiireissä komponenttina.



KUVA 23. Nostokoneiston taajuusmuuttajien rakenteen makro ohjelmalohkona

Taajuusmuuttajien rakenteen tekemisen jälkeen, voidaan jatkaa simulointimallin luontia ja tehdä ohjelmakaavio taajuusmuuttajien ohjauksesta kokonaisuudessaan.

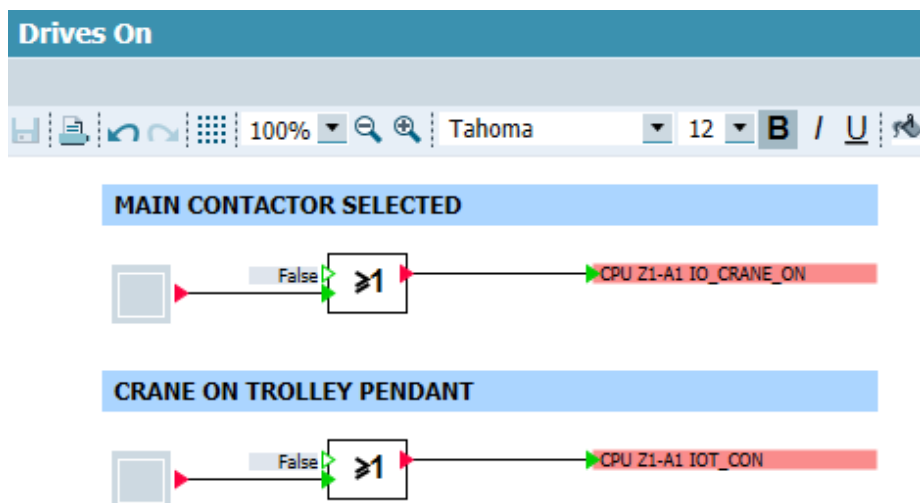


KUVA 24. Hoist A1 taajuusmuuttajan ohjauksen ohjelmakaavio

Yllä olevassa kuvassa näkyy valmis ohjelmakaavio ensimmäisen noston taajuusmuuttajan osalta. Keskellä on aiemmin itse luotu makrokomponentti, jonka tulo- ja lähtösignaaleihin yhdistyy tarvittavat tulot ja lähdöt sekä niiden toteutumisen ehdot, skaalaukset ja muunnokset. Kiihdytys- ja hidastusajaksi on asetettu 25, joka vastaa 2,5 sekunnin kiihdytystä ja hidastusta. Kaavion yläreunassa sijaitseva painike kertoo, että taajuusmuuttajan tila on OK ja sen täytyykin olla painettuna, jotta noston ajaminen on mahdollista simuloinnissa.

## 7.2.2 Sähkösyötön simulointimalli

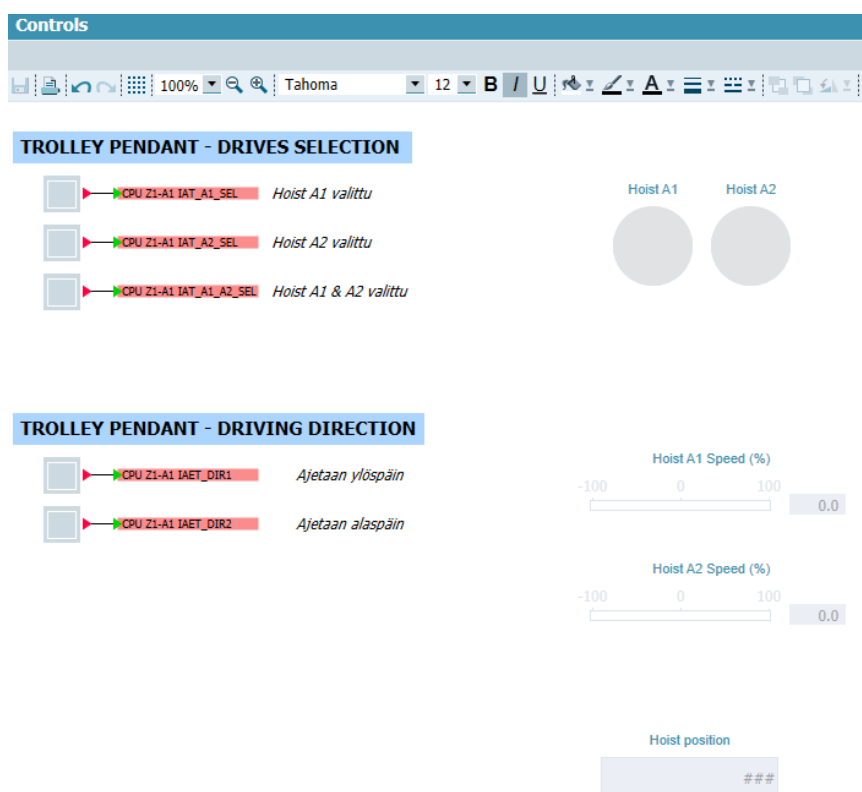
Nosturissa on oltava sähköt päällä ja halutusta ohjauspaikasta valittuna sähkökäytöt päälle, jotta noston ajamista voidaan simuloida. Nämä on toteutettu erilliseen ohjelmakaavioon. PLC:n tuloja varten saadaan SIMIT:iin tehtyä painikkeet, jotka ohjaavat tuloja päälle ja pois. Kuvasta 25 löytyy ylempänä nosturin pääkontaktori ja alempana työhön valitun ohjauspaikan sähkökäyttöjen aktivoimisen valintapainike.



KUVA 25. Nosturin sähkönsyötön ja ohjauspaikan sähkökäyttöjen valinnat

### 7.2.3 Ohjauspaikan simulointimalli

Nostoa voidaan ajaa monin eri tavoin erilaisista ohjauspaikoista, joista yksi on vaunun päällä sijaitseva ohjauskapula. Tämä ohjauspaikka on monipuolisin noston ohjausten suhteen, sillä se on ainoa paikka, josta voidaan valita myös yksittäinen nostojen käyttö ja täten ajaa toispuoleisesti nostoa. Ohjauskapulaa ja sillä valittuja toimintoja voidaan havainnollistaa hyvin SIMIT:ssä. Alla olevassa kuvassa on nähtävillä nostojen käyttöjen valintapainikkeet ja ajosuunnan painikkeet. Lisäksi simulointia varten saadaan indikoitua nostojen valinnat, ajonopeudet ja paikkatieto. Nämä helpottavat simulointia ja seuraamista, kun nähdään konkreettisesti tilojen muutokset ja toiminnot.

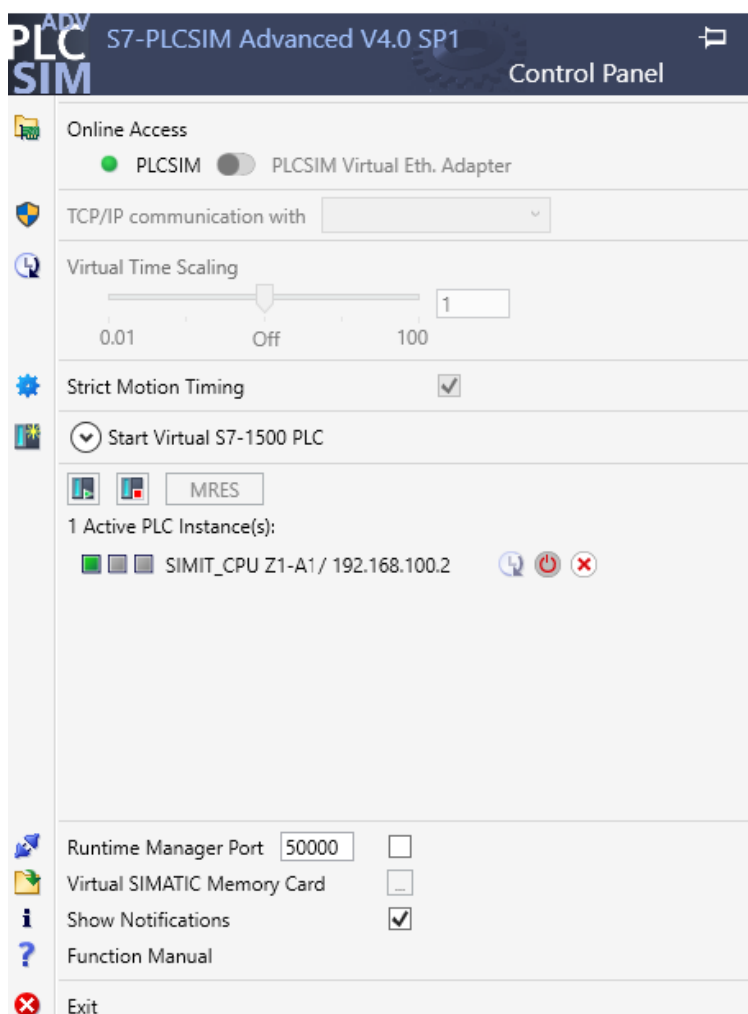


KUVA 26. Ohjauspaikan mallinnus ja noston ajojen indikoinnit

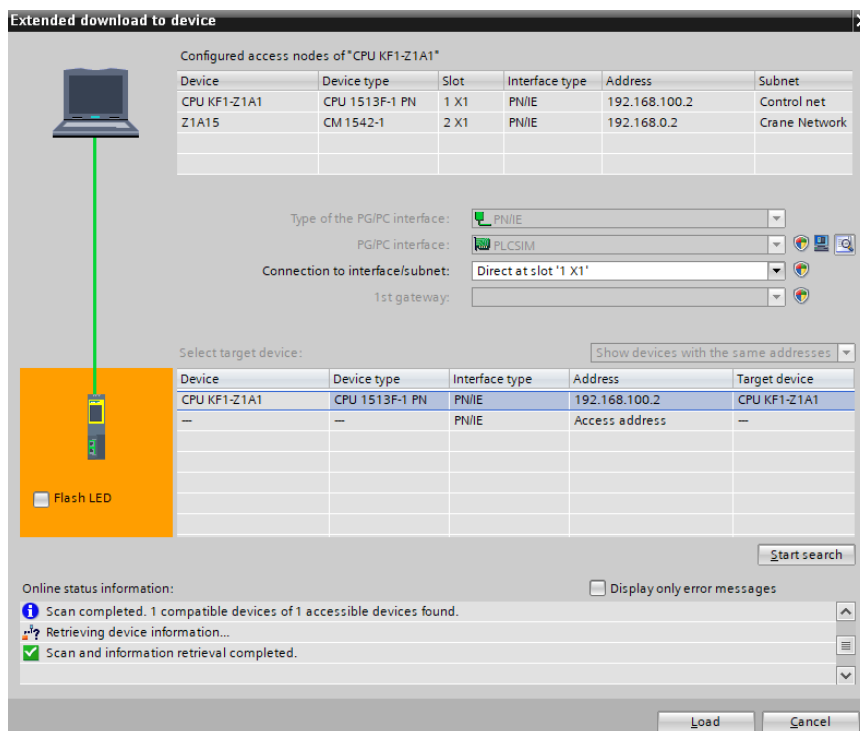
### 7.3 Simulointimallien testaus

Valmiiksi tehtyjen simulointimallien jälkeen, voidaan testata simuloinnin toimintaa itse simulaatiossa. Simuloinnin saa käyntiin painamalla SIMIT:n vasemmassa yläreunassa sijaitsevaa sinistä start-painiketta. Kun simulointi on käynnissä, ohjelmiston välilehtien taustavärit muuttuvat oranssiksi ja projektipuu siirtyy Simulation -välilehdelle, jossa simuloitavien ohjelmakaavioiden ja komponenttien asetusten muokkaaminen ei ole mahdollista.

Simuloinnin aloitus käynnistää taustalle automaattisesti myös PLCSIM Advanced -simuloinnin ja luo PLC:lle instanssin, joka on löydettävissä myös TIA-Portalissa. Projektin ohjelma ladataan virtuaalisen PLC:n sisään, jonka jälkeen toimintoja voidaan tutkia Online-tilassa myös koodin puolella sekä tarkastella tulojen ja lähtöjen tiloja.



KUVA 27. SIMIT:n luoma PLCSIM Advanced -simuloinnin PLC instanssi

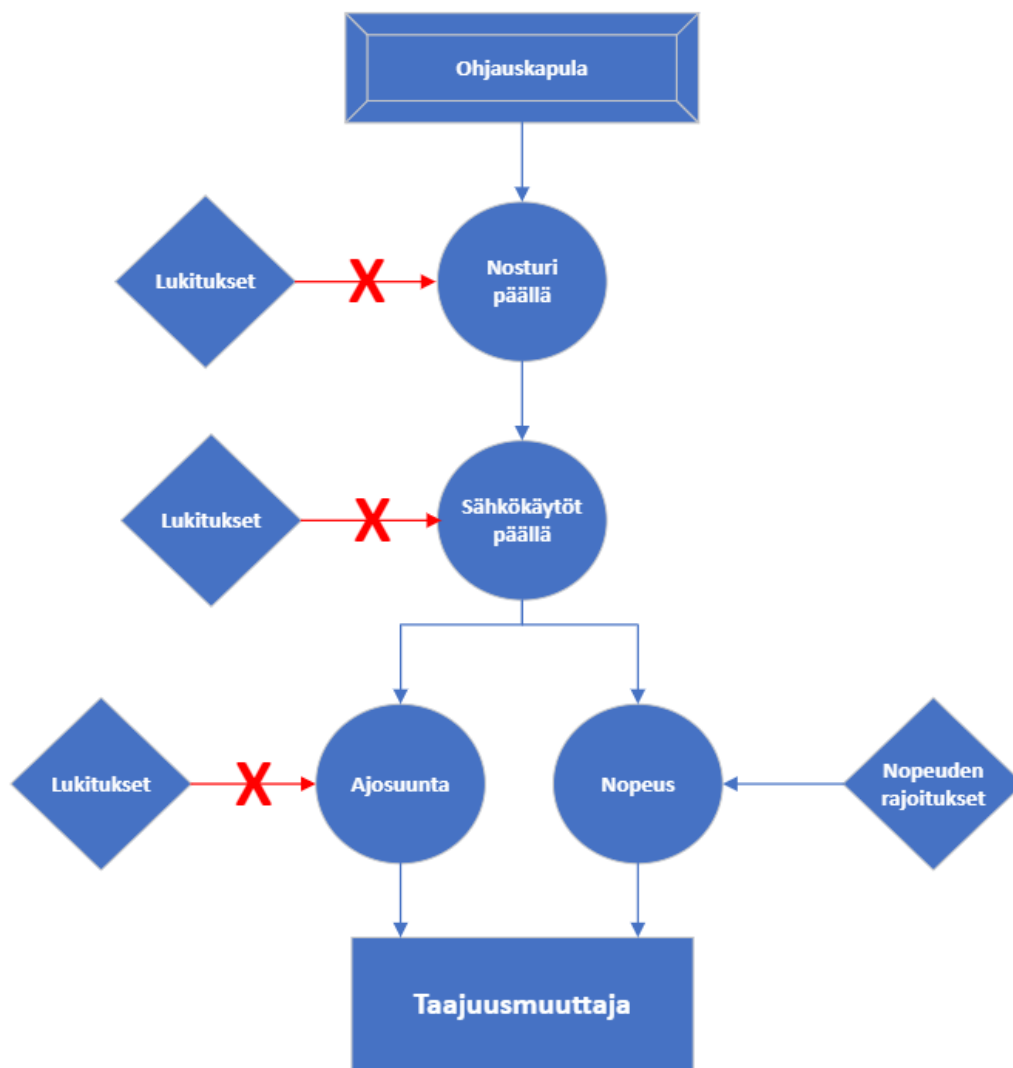


## KUVA 28. Ohjelman lataus virtuaaliselle PLC:lle

Simuloinnin käynnistymisen ja ohjelmien välisten yhteyksien luomisen jälkeen voidaan aloittaa simulointimallien testaaminen simulaatioalustalla. Simuloinnin toiminnan mahdollistamiseksi jouduttiin ohittamaan paljon erilaisia turvatoimintoja ja lukituksia PLC koodissa. Turvatoiminnot ja käyttöjen lukitukset eivät ole työn simuloinnissa olennainen asia, vaan tarkoituksena on nähdä taajuusmuuttajien toimintaa valintojen, ajosuuntien, -nopeuksien ja paikkatiedon suhteen. SIMIT:n puolella on myös mahdollista tehdä ohituksia, mutta PLC koodin ollessa laaja kokonaisuus oikeasta nosturi-projektista, on nopeampaa ja helpompaa ohittaa nämä turvatoiminnot ja lukitukset TIA-Portalin puolella.

Erialaisten toimintojen lukitukset ovat poikkeuksellinen toimenpide, mutta sitä käytetään myös esimerkiksi projektien tehdastehtävissä. Tehdastestit suoritetaan nostureiden sähköhuoneille, kun niiden kytkennät ovat käyttöjen osalta valmiina. Tehdastestien tarkoituksena on nähdä, että tehdyt kytkennät, ohjaukset, moottoreiden nopeudet ja pyörimissuunnat toimivat oikein. Tällöinkin sillä hetkellä niiden näkemistä estävät turvatoiminnot ja lukitukset ohitetaan PLC koodissa väliaikaisella ohjelmaversiolla, jotta edellä mainitut asiat selviävät ja niiden oikeellinen toiminta varmistetaan.

Kuvassa 29 on havainnollistettu pääpiirteittäin, kuinka oikeassa käyttötilanteessa lukitukset vaikuttavat taajuusmuuttajan ohjauksessa. Työssä tehdyt lukitusten ohittamiset on indikoitu punaisella nuolella ja sen päällä olevalla ruksilla.



KUVA 29. Taajuusmuuttajan ohjauksen toimintakaavio pääpiirteittäin

Vaadittujen ohitusten jälkeen, kun simuloinnin on mahdollista pyöriä ja toimia, valitaan SIMIT:ssä ohjauspaikan mallinnuksesta ensimmäiseksi käyttöön molemmat nostokoneistot ja lähdetään ajamaan nostoa ylös- ja alaspäin. Indikoinnit näyttävät simuloidessa valot nostokoneistojen valinnoille sekä nopeuden ja paikkatiedon arvon jatkuvasti päivittyen.

**Controls**

123 100% Tahoma 12 B / U

**TROLLEY PENDANT - DRIVES SELECTION**

CPU Z1-A1 IAT\_A1\_SEL *Hoist A1 valittu*

CPU Z1-A1 IAT\_A2\_SEL *Hoist A2 valittu*

CPU Z1-A1 IAT\_A1\_A2\_SEL *Hoist A1 & A2 valittu*

Hoist A1 Hoist A2

**TROLLEY PENDANT - DRIVING DIRECTION**

CPU Z1-A1 IAET\_DIR1 *Ajetaan ylöspäin*

CPU Z1-A1 IAET\_DIR2 *Ajetaan alaspäin*

Hoist A1 Speed (%)

-100 0 100 10.0

Hoist A2 Speed (%)

-100 0 100 10.0

Hoist position (mm)

6711

KUVA 30. Simulointi - Molempien nostokoneistojen ajo ylöspäin

**Controls**

123 100% Tahoma 12 B / U

**TROLLEY PENDANT - DRIVES SELECTION**

CPU Z1-A1 IAT\_A1\_SEL *Hoist A1 valittu*

CPU Z1-A1 IAT\_A2\_SEL *Hoist A2 valittu*

CPU Z1-A1 IAT\_A1\_A2\_SEL *Hoist A1 & A2 valittu*

Hoist A1 Hoist A2

**TROLLEY PENDANT - DRIVING DIRECTION**

CPU Z1-A1 IAET\_DIR1 *Ajetaan ylöspäin*

CPU Z1-A1 IAET\_DIR2 *Ajetaan alaspäin*

Hoist A1 Speed (%)

-100 0 100 -10.0

Hoist A2 Speed (%)

-100 0 100 -10.0

Hoist position (mm)

5773

KUVA 31. Simulointi - Molempien nostokoneistojen ajo alaspäin

Näiden jälkeen testataan vielä simuloinnilla nostokoneistojen toispuolinen ajaminen. Valitaan käyttöön ainoastaan ensimmäinen nostokoneisto ja ajetaan sitä ylöspäin.

**Controls**

Tahoma 12 B U

**TROLLEY PENDANT - DRIVES SELECTION**

CPU Z1-A1 IAT\_A1\_SEL *Hoist A1 valittu*  
 CPU Z1-A1 IAT\_A2\_SEL *Hoist A2 valittu*  
 CPU Z1-A1 IAT\_A1\_A2\_SEL *Hoist A1 & A2 valittu*

Hoist A1 Hoist A2

**TROLLEY PENDANT - DRIVING DIRECTION**

CPU Z1-A1 IAET\_DIR1 *Ajetaan ylöspäin*  
 CPU Z1-A1 IAET\_DIR2 *Ajetaan alaspäin*

Hoist A1 Speed (%)

-100 0 100 10.0

Hoist A2 Speed (%)

-100 0 100 0.0

Hoist position (mm)

2031

KUVA 32. Simulointi - Vain ensimmäisen nostokoneiston ajo ylöspäin

Kuten yllä olevista kuvista nähdään, simulointi ja toimintojen visualisoinnit toimivat hyvin kaikissa käyttöskenaarioissa. Kuvilla ei pysty havainnollistamaan reaaliaikaisesti muuttuvien arvojen muutoksia tai taajuusmuuttajien kiihdytys- ja hidastusajoja, mutta ne toimivat asetettujen arvojen mukaisesti.



## 8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä nostokoneiston taajuusmuuttajista mallinnus ja tutustua SIMIT-simulaatioalustan käyttöön ja toimintoihin komponenttien simuloinnissa sekä visualisoinnissa. Työssä perehdyttiin RTG-nosturiin ja nostokoneistojen DynAhoist taajuusmuuttajiin. Lisäksi esiteltiin virtualisointiin liittyviä käsitteitä, kuten digitaalinen kaksoinen, virtuaalinen käyttöönotto ja simulaatio. SIMIT-ohjelmiston lisäksi työn toteutukseen tarvittiin myös Siemensin kehittämät ohjelmistot TIA-Portal ja PLCSIM Advanced.

Työssä läpikäytyistä käsitteistä digitaalisen kaksoisen ja virtuaalisen käyttöönoton käsitteet olivat itselle suhteellisen tuntemattomia, ja niistä opinkin paljon työtä tehdessä. Ne ovat viime vuosikymmenten aikana nousseet jatkuvasti paremmin tietoisuuteen ja erilaisiin käyttöihin tekniikan kehityksen mukana. Uskon, että nämä tulevat jatkamaan nousuaan ja yleistymistään tulevaisuudessa samalla tavalla.

Työssä käytetyistä ohjelmistoista TIA-Portal ja PLCSIM Advanced olivat tuttuja jo entuudestaan koulun ja työpaikan osalta. SIMIT puolestaan oli täysin tuntematon ja uusi termi, mutta se olikin omalla tavallaan mielenkiintoista lähteenä tekemään vieraan aiheen ja ohjelmiston parissa työtä. Tietenkin aikaa kului nimenomaan tämän takia monien asioiden selvittämiseen ja tutkimiseen, koska ohjelmistosta ei löydy ohjeita helposti netistäkään, lukuun ottamatta manuaalia. Tästä huolimatta SIMIT on monipuolinen ohjelmisto erilaisia simuloiteja varten.

Omat ammatilliset taidot kehittyivät aiheista opinnäytetyön tekemisen aikana. Opin lisää taajuusmuuttajien toiminnoista, rajapinnoista ja laitteiden välisistä yhteyksistä. Myös PLC koodin lukeminen, ymmärtäminen ja muokkaaminen kehittyi niin ikään toimintojen, erilaisten rajapintojen ja yhteyksien suhteen.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin onnistuneesti ja tuloksena valmistui toimivat simulointimallit nosturin nostokoneiston taajuusmuuttajista ja näiden toiminta varmistettiin simuloimalla käyttäjä. Työn lopputulosta voidaan hyödyntää jatkossa tekemällä simulointimalleja muista nosturin komponenteista ja toiminnosta. Tällaisia simulointimalleja voidaan käyttää esimerkiksi uusien työntekijöiden perehdyttämiseen nosturin komponenttien toimintojen ja ohjausten osalta. Jatkokehityksenä työlle voisi olla tulevaisuudessa esimerkiksi kokonaisen nosturin simulointi yhdessä Siemensin NX MCD:llä luodun kinematiikkamallin kanssa.

## LÄHTEET

- Banks, J.;Carson II, J. S.;Nelson, B. L.;& Nicol, D. M. (2005). *Discrete-Event System Simulation 4th Edition*. Haettu 21. 12. 2023 osoitteesta [https://lpuguidecom.files.wordpress.com/2017/05/youblisher-com-165164-discrete\\_event\\_system\\_simulation.pdf](https://lpuguidecom.files.wordpress.com/2017/05/youblisher-com-165164-discrete_event_system_simulation.pdf)
- Elomatic. (16. 8. 2021). *Digitaalinen kaksonen - digital twin*. (E. Ala-Mäyry, Tuottaja) Haettu 25. 1. 2024 osoitteesta <https://www.elomatic.com/fi/digitaalinen-kaksonen-digital-twin/>
- Konecranes. (2023a). *At a Glance*. Haettu 23. 11. 2023 osoitteesta <https://investors.konecranes.com/glance>
- Konecranes. (2023b). *Our Markets*. Haettu 23. 11. 2023 osoitteesta <https://investors.konecranes.com/our-markets>
- Konecranes. (2023c). *Toimitusketju ja tuotanto*. Haettu 27. 11. 2023 osoitteesta <https://www.konecranes.com/fi/ura/tutustu-eri-tehtaviimme/toimitusketju-ja-tuotanto>
- Konecranes. (2023d). *Port Solutions Equipment*. Haettu 28. 11. 2023 osoitteesta <https://www.konecranes.com/port-solutions-equipment>
- Konecranes. (Intranet). *Electrics product information: Sisäinen materiaali*. Haettu 11. 12. 2023
- Konecranes. (RTG). *Rubber-Tired Gantry Cranes*. Haettu 3. 12. 2023 osoitteesta <https://www.konecranes.com/port-equipment-services/container-handling-equipment/rubber-tired-gantry-cranes#rtg-advisor>
- Liu, Z.;Suchold, N.;& Diedrich, C. (2012). *Virtual Commissioning of Automated Systems*. Haettu 25. 1. 2024 osoitteesta <https://www.intechopen.com/chapters/37992>
- Madni, A.;Madni, C.;& Lucero, S. (2019). *Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering*. Haettu 25. 1. 2024 osoitteesta <https://www.mdpi.com/2079-8954/7/1/7>
- MathWorks. (ei pvm). *Virtual Commissioning*. Haettu 26. 1. 2024 osoitteesta <https://www.mathworks.com/discovery/virtual-commissioning.html>
- Opal-RT. (2022). *Software-in-the-Loop*. Haettu 22. 1. 2024 osoitteesta <https://www.opal-rt.com/software-in-the-loop/>
- Siemens. (2018). *SIMATIC/SIMOTION virtual commissioning with "Hardware in the Loop"*. Haettu 22. 1. 2024 osoitteesta [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/739/109758739/att\\_959577/v2/109758739\\_Documentation\\_HiL\\_en.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/739/109758739/att_959577/v2/109758739_Documentation_HiL_en.pdf)
- Siemens. (2019). *SIMIT Simulation Platform*. Haettu 19. 1. 2024 osoitteesta <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:4ce72796-3757-493c-8afe-e1fefb988025/simitsimulationplatformdatasheet2019-1en-144.pdf>
- Siemens. (2021a). *STEP 7 and WinCC Engineering V17*. Haettu 2. 1. 2024 osoitteesta [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/671/109798671/att\\_1071920/v1/STEP\\_7\\_WinCC\\_V17\\_enUS\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/671/109798671/att_1071920/v1/STEP_7_WinCC_V17_enUS_en-US.pdf)

Siemens. (2021b). *S7-PLCSIM Advanced*. Haettu 4. 1. 2024 osoitteesta

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/879/109798879/att\\_1071484/v1/s7-plcsim\\_advanced\\_function\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/879/109798879/att_1071484/v1/s7-plcsim_advanced_function_manual_en-US_en-US.pdf)

Siemens. (2022a). *SIMATIC Machine Simulator V5.0*. Haettu 22. 1. 2024 osoitteesta

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/943/109758943/att\\_1120005/v1/Manual\\_SIMATIC\\_Machine\\_Simulator\\_GettingStarted\\_V5\\_0\\_EN.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/943/109758943/att_1120005/v1/Manual_SIMATIC_Machine_Simulator_GettingStarted_V5_0_EN.pdf)

Siemens. (2022b). *SIMIT Simulation Platform (V11)*. Haettu 2. 2. 2024 osoitteesta

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/085/109812085/att\\_1109061/v1/SIMIT\\_enUS\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/085/109812085/att_1109061/v1/SIMIT_enUS_en-US.pdf)

Siemens. (ei pvm). *TIA Portal*. Haettu 27. 12. 2023 osoitteesta

<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>