



Max Lindholm

Bosch Rexroth CytoMotion- toimilaitteen käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

26.5.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Max Lindholm
Otsikko: Bosch Rexroth CytroMotion-toimilaitteen käyttöönotto
Sivumäärä: 34 sivua + 1 liite
Aika: 26.05.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka
Ammatillinen pääaine: Koneautomaatio
Ohjaajat: Lehtori Maria Sjöholm
Team Manager Juha Lantta

Opinnäytetyön päätavoitteena oli osallistua työn tilaajan, Etteplanin projektiin suorittamalla kirjallisuusselvitys uuden, yritykselle tuntemattoman toimilaitteen CytroMotionin sekä sen ohjauksen käyttöönotosta. CytroMotion tuli osaksi suurempaa automatisointikokonaisuutta, jonka Etteplan suunnitteli ja toteutti asiakkaalleen.

Työ alkoi esittelyllä CytroMotionin käyttötarkoituksesta kokoonpanopuristimena. Lisäksi käytiin läpi suunniteltu työkierto, automaation topologia sekä projektissa käytetyt laitteet. Esittelyn jälkeen tiedonhaku kirjallisuusselvitystä varten alkoi. Laitteen valmistaja ja yhteistyökumppani Bosch Rexroth toimi tärkeimpänä lähteenä selvityksessä.

Kirjallisuusselvitys keskittyi IndraWorksiin. IndraWorks on Bosch Rexrothin kehittämä ohjelmisto myymiensä servojen sekä servo-ohjainten ohjaamiseen, säätöön ja testaukseen. Selvityksessä selitetään yksityiskohtaisesti käyttöönoton tarvittavat vaiheet kommunikaatioyhteyden luomisesta alkaen.

Selvityksessä käydään läpi ylemmän tason ohjaus, selitys työkierrosta, CytroMotionin hydrauliset venttiilit sekä kuinka ohjelmointi on toteutettu. Selvityksessä esitellään myös servon säätimet, mutta opinnäytetyön projekti ei vaatinut servon säätämistä.

Opinnäytetyön viimeinen vaihe oli osallistuminen käyttöönottoon. Käyttöönoton vaiheet dokumentoitiin, ja kirjallisuusselvitykseen tehtiin tarvittavat muutokset tai lisäykset.

Avainsanat: CytroMotion, IndraDrive, IndraWorks, servo, käyttöönotto, säätö

Abstract

Author: Max Lindholm
Title: Commissioning of a Bosch Rexroth CytroMotion-actuator
Number of Pages: 34 pages + 1 appendix
Date: 26 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisors: Maria Sjöholm, Senior Lecturer
Juha Lantta, Team Manager

The primary goal of this thesis was to research and compile a comprehensive report on the commissioning and control of a CytroMotion-actuator. The client company of this thesis was Etteplan, who designed CytroMotion to be used as a part of a larger automation production line for one of their customers.

The thesis began with a demonstration of CytroMotion's planned usage as a press on a conveyor line, the automation topology, components and devices used as well as the planned workflow for CytroMotion. After the demonstration, research for the report began. Manufacturer Bosch Rexroth served as by far the most important source for information regarding CytroMotion.

Information in the report was focused on IndraWorks. IndraWorks is software developed by Bosch Rexroth to handle control, adjustments and testing for servos and servo controllers manufactured by the company. The report explains all the steps required for commissioning in depth, starting from connecting IndraWorks to the hardware used.

The report explains how PLC control is set up, workflow for CytroMotion and the conveyor line, hydraulic valve control for CytroMotion as well as a PLC programming overview for this use case. PID-control for the servo is also mentioned in the report, but it was not required in this project.

The final phase of the thesis was participating in the real commissioning of CytroMotion. The different stages of commissioning were documented, and after review, all the required changes or additions were added to the report.

Keywords: CytroMotion, IndraDrive, IndraWorks, servo, commissioning, control

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laitteisto ja järjestelmä	2
2.1	Käyttötarkoitus ja prosessi	2
2.2	CyteroMotion	3
2.3	IndraDrive	4
2.4	Yhteys logiikalle ja rajapinta	5
2.5	Topologia	6
3	Koneturvallisuus ja valmistelu	7
3.1	Koneturvallisuus	7
3.2	Valmistelevat toimenpiteet	8
4	Servo ja ohjain	9
4.1	Perusasioita	9
4.1.1	Konfiguroinnin aloitus	9
4.1.2	Kommunikaatioyhteyden määrittäminen	10
4.1.3	IndraWorksien perusteet	11
4.2	Kommunikaatio	13
4.2.1	Master Communication	13
4.2.2	Parametrien alustus	14
4.3	Akseli ja enkooderi	15
4.3.1	Akselin skaalaus	15
4.3.2	Enkooderin referenssipiste	17
4.3.3	Turvarajat	18
4.4	Toimintatilat	19
4.5	Drive Halt	20
4.6	Virhetilanteet	21
4.6.1	Virhereaktiot	21
4.6.2	E-Stop	23
4.7	Diagnostiikka	24
5	Ylempi ohjaus	24

5.1	Ohjauksen toteutus sekä ohjelman vaatimukset	24
5.2	IndraWorks-sin parametrit	25
5.3	Hydrauliikan toimintatilat	26
5.4	Ohjelman rakenne	28
6	Säätö	30
6.1	Servon säätimet	30
6.2	Säädön toteutus	31
7	Käyttöönotto	31
8	Yhteenveto	34
	Lähteet	1

Liitteet

Liite 1: Taulukko 1. Sovelluksessa käytettävät IndraWorks-sin signaalit.

Lyhenteet

- PLC: *Programmable Logic Controller*. Pelkistetty tietokone, jota käytetään reaaliaikaisissa automaatio-sovellutuksissa.
- GSD: *General Station Description*. Tekstipohjainen tiedostomuoto, esiintyy esimerkiksi muodossa GSDML tai GSDX. Käytössä automaatio-sovellutuksissa laitteiden välisessä kommunikaatiossa.
- STO: *Safe Torque Off*. Turvallisuustoiminto, joka estää moottorin käyttämiseen tarvittavan virran tuottamisen.
- FAT: *Factory Acceptance Test*. Toiselta nimeltään tehdastestaus. Tilaajan ja toimittajan kanssa yhteistyössä tehty tarkastus, jolla testataan täyttääkö tilattu laite tai järjestelmä asetetut vaatimukset.

1 Johdanto

Etteplanin Vantaan toimipiste on saanut asiakkaaltaan toimeksiannon vaativasta automatisointikokonaisuudesta, joka toteutetaan vuoden 2024 ja 2025 aikana. Etteplan on tilannut Bosch Rexrothilta CytroMotion-toimilaitteen osaksi automatisointikokonaisuutta toimimaan kokoonpanopuristimena. CytroMotion on servo-ohjattu hydraulinen lineaariakseli, joka soveltuu ainutlaatuisten ominaisuuksiensa ansiosta osaksi projektia.

Yrityksellä ei ole aikaisempaa kokemusta toimilaitteen käytöstä, joten opinnäytetyön tavoitteena on tehdä laaja kirjallisuusselvitys servon sekä ohjaimen käyttöönotosta ja säädöstä laitteen saapumista varten. Lisähaasteena on se, että CytroMotion on tuore tuote markkinoilla, eikä kokemusta ole paljoa edes Euroopan tasolla.

Opinnäytetyön kulminaationa on osallistuminen toimilaitteen käyttöönottoon Vantaan toimipisteellä 2024 loppukesän ja syksyn aikana. Käyttöönoton ja testauksen jälkeen kirjallisuusselvitykseen tehdään tarvittaessa lisäyksiä, ja itse käyttöönoton prosessi dokumentoidaan opinnäytetyön osaksi kuvien ja selitysten avulla.

Kirjallisuusselvityksen ja käyttöönoton dokumentoinnin avulla Etteplan voi hyödyntää valmista opinnäytetyötä sekä nykyiseen, että mahdollisesti tuleviin asiakasprojekteihin missä käytetään samantyyppistä laitteistoa.

2 Laitteisto ja järjestelmä

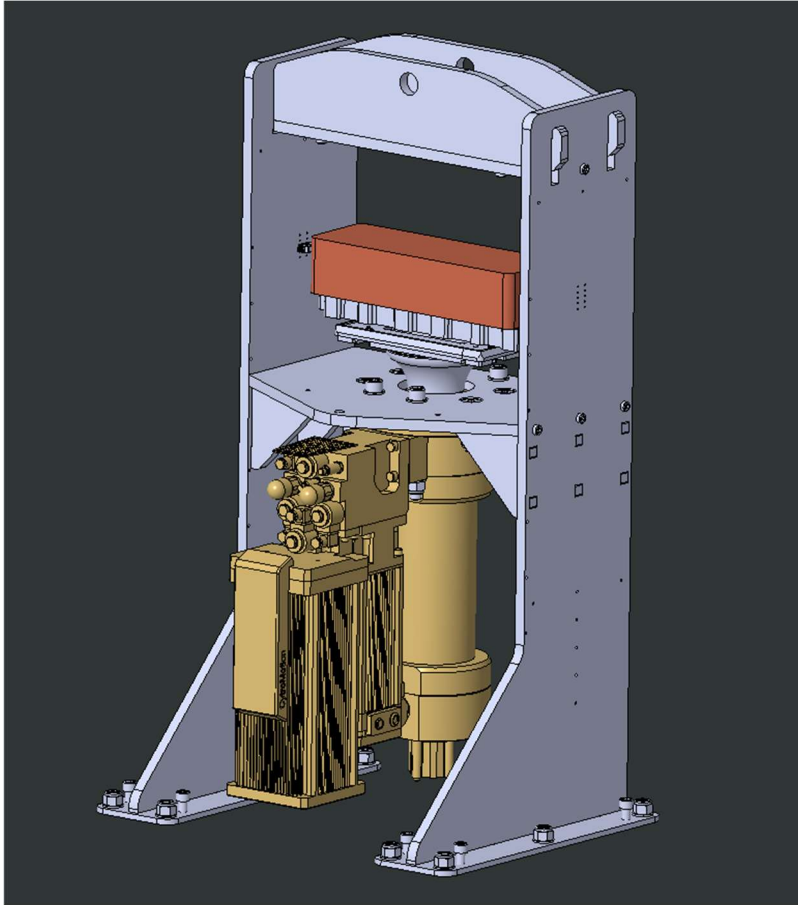
2.1 Käyttötarkoitus ja prosessi

Automatisointikokonaisuuden tarkoituksena on päivittää sekä parantaa Etteplanin asiakkaan kokoonpanolinjastoa. Linjastolla valmistetaan eri kokoisia metallisia lämmönsiirtimiä. Prosessiin tarvitaan toimilaite, joka puristaa lämmönsiirtimiä kasaan riittävällä voimalla. Lämmönsiirtimet koostuvat useista metallikerroksista, ja kokoonpanopuristuksella saadaan poistettua välykset kerroksista.

Puristuksella on suuri voimantarve, mutta samalla vaaditaan riittävää tarkkuutta sekä mukautuvuutta eri kokoihin tuotteisiin. Suunnitteluvaiheessa puristusvoiman vaatimukseksi asetettiin 20 t, mutta tarkka arvo ei ole tiedossa. Huomioon on otettava myös se, että puristimen lähellä työskentelee operaattori osana prosessia. Operaattorin läsnäolo tuo lisävaatimuksia meluhaittojen sekä ahtaan tilan takia.

Puristusvoiman vaatimuksen takia toimilaitteen on oltava hydraulinen. Muiden kriteerien perusteella prosessiin valittiin ratkaisuksi CytroMotion, joka yhdistää perinteisen hydrauliiikan voimantuoton, samalla tuoden sähköisen järjestelmän edut.

Puristus suoritetaan alhaalta ylöspäin. Toimilaite on kiinni rungossa, jonka läpi kulkee lämmönsiirtimien kuljetin. Rungon yläosassa on vaste, joka ottaa puristuksen voiman vastaan. Lämmönsiirtimet kulkevat paleteilla, joissa on valmiina jigi puristusta varten. Jigi levittää puristuksen voiman tasaisesti koko lämmönsiirtimen pinta-alalle. Toimilaitteen suunniteltu kokoonpano näkyy kuvasta 1.



Kuva 1. 3D-malli puristimen sijoituksesta sekä rungosta.

2.2 CytroMotion

CyteroMotion on hydraulinen sekä sähköinen toimilaite, joka toimii suljetussa järjestelmässä. Laitteen hydraulinen puoli on sisällytetty täysin koteloinnin sisään, ja se toimii ilman ulkopuolista infrastruktuuria. Itsenäinen toiminta oli tärkeä valintakriteeri prosessiin, sillä perinteinen hydraulikka on sotkuista, äänekkästä sekä vie paljon tilaa.

Suljettu järjestelmä helpottaa lisäksi laitteen käyttöönottoa, sillä se onnistuu ilman vahvaa hydraulikan alan osaamista. Venttiilien hallinta onnistuu ylemmän tason ohjauksen kautta digitaalisilla signaaleilla. Kuvassa 2 havainnollistetaan toimilaitteen ulkoinen rakenne sekä tärkeimmät osat.



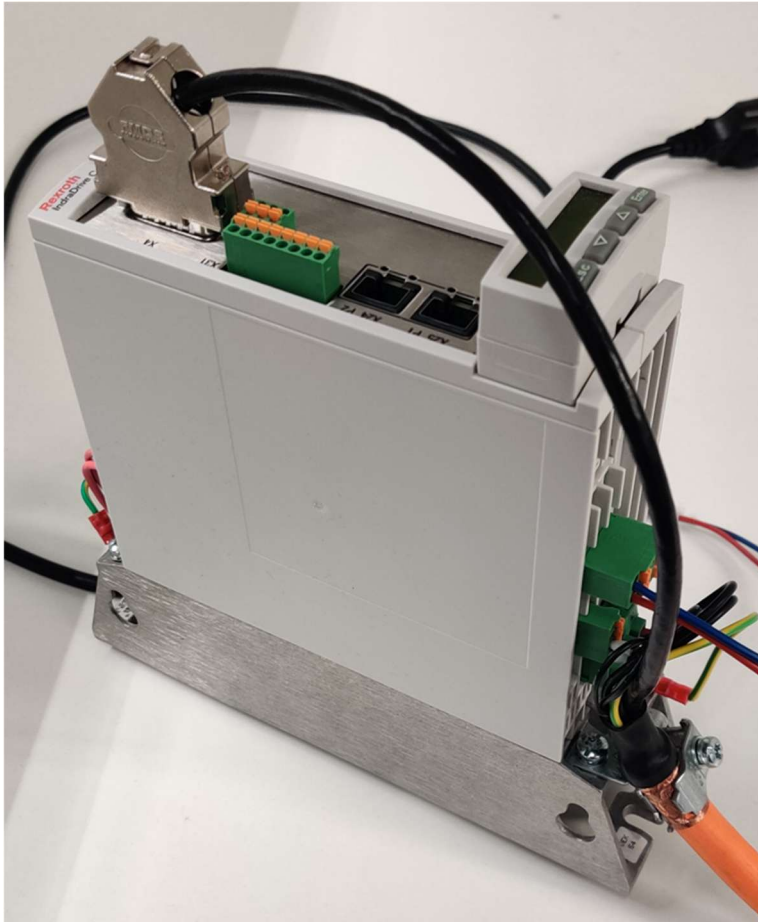
Kuva 2. CytoMotion-toimilaitteen ulkoinen rakenne (Bosch Rexroth 2024: 20).

1. Kompensaattori
2. Servomoottori
3. Sylinterin paikoitusjärjestelmä
4. Sylinteri ja lineaariakseli
5. Pumppu
6. Jakotukki ja venttiilikotelo

2.3 IndraDrive

CytoMotionin ohjaukseen käytetään Bosch Rexrothin IndraDrive C servo-ohjainta sekä siihen soveltuvaa sähkökäyttöä. Servo-ohjain mahdollistaa rajapinnan mekaniikan ja automaation välille. Ohjaimen avulla voidaan lukea servon antureita ja säätää parametrejä, saaden sitä kautta ohjausjännitteet sopivaksi haluttuun prosessin vaiheeseen. Sähkökäyttö toimii siltana

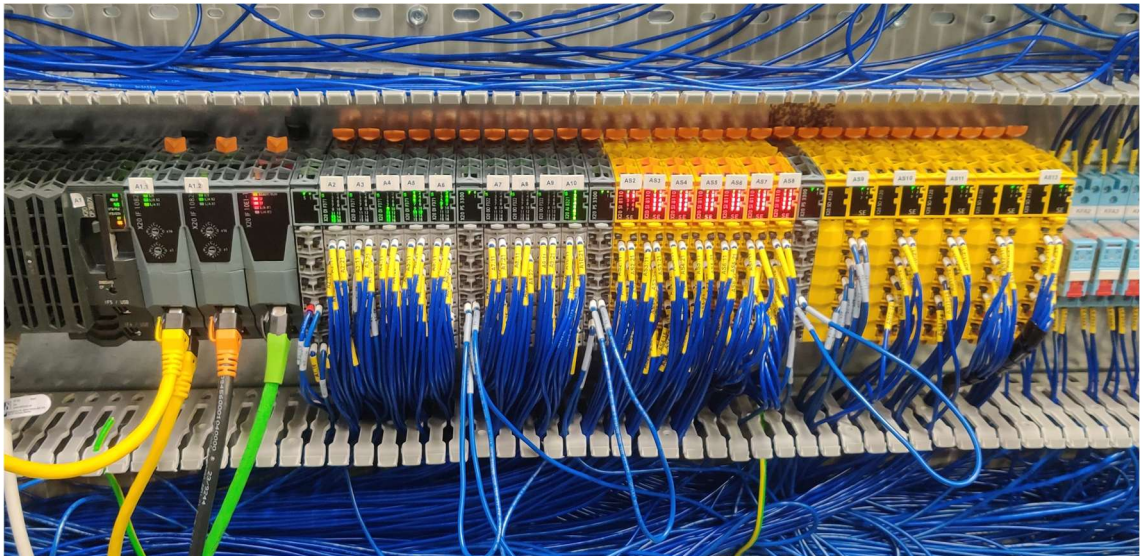
virtalähteen, ohjaimen ja moottorin välillä muuntaen moottorin pyörimisnopeuden ja vääntömomentin haluttuun arvoon. Kuvassa 3 näkyy IndraDrive C-sarjan servo-ohjain.



Kuva 3. IndraDrive C-sarjan servo-ohjain.

2.4 Yhteys logiikalle ja rajapinta

Ylempään ohjaukseen käytetään B&R Automationin X20-sarjan PLC:tä sekä soveltuvaa I/O:ta. Yhteys servo-ohjaimelle toteutetaan PROFINET-väylällä. Tilavaatimusten takia sovelluksessa hyödynnetään hajautettua I/O:ta, joten master PLC ja suuri osa muista automaatiokomponenteista sijaitsee useamman metrin päässä CytoMotionista sähkökaapissa. Servo-ohjaimelle ja sähkökäytölle on erillinen pienempi kaappi kiinni puristimen rungossa. Kuvassa 4 näkyy PLC sekä osa I/O:sta.



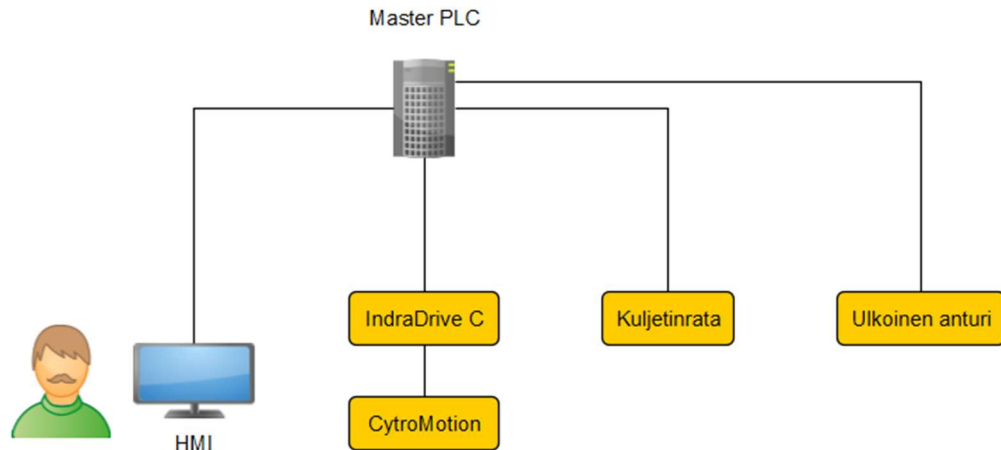
Kuva 4. Master PLC ja I/O.

Rajapinnan määrittämiseen käytetään GSDML-tiedostoa. GSDML on tekstipohjainen tiedostomuoto, jota käytetään PROFINET-sovellutuksissa. Tiedosto tuo käytetyn laitteiston tiedot ja ohjausparametrit PLC:lle mahdollistaen servon ylemmän tason ohjauksen.

2.5 Topologia

Kirjallisuusselvitys keskittyy ainoastaan CytoMotioniin koko automatisointikonaisuuden sijaan, joten topologia on yksinkertainen. Keskipisteenä on Master PLC; johon on kytkettynä IndraDrive C, kuljetinrata anturointineen sekä puristuspaikan runkoon kiinnitetty erillinen anturi lämmönsiirtimien paikoituksen varmistamiseen.

Operaattori ohjaa prosessia HMI-paneelilla asettaen sarjan tiedot kuten kappalemäärän ja onnistuneen puristuksen raja-arvot oikeiksi. Kuvassa 5 havainnollistetaan prosessin topologia.



Kuva 5. Sovellutuksen topologia.

3 Koneturvallisuus ja valmistelu

3.1 Koneturvallisuus

Teollisuuskoneisiin liittyy monia riskejä ja vaaroja, ja turvallisuustekijät on otettava huomioon joka askeleessa. Standardin ISO 12100 (2011: 14) mukaan ”On oletettavaa, että koneessa oleva vaara johtaa ennemmin tai myöhemmin vahinkoon, jos mitään suojaustoimenpidettä (-piteitä) ei toteuteta”. Riskit tulee pystyä minimoimaan, tai jos mahdollista, poistamaan täysin.

CytroMotion toimii suljetussa järjestelmässä, mutta hydraulisen järjestelmän tuomat riskit ovat silti olemassa. On tärkeää huomioida se, että laite on jatkuvasti paineistettu myös irrallaan järjestelmästä. Vuodon sattuessa korkealle paineistettu hydraulineste voi aiheuttaa vahinkoa iholle tai silmille, sekä myrkytyksen nieltynä tai hengitettynä. Hydraulineste on helposti syttyvää, joten laite on pidettävä kaukana tulilähteistä, sekä huolehdittava riittävästä ilmanvaihdosta.

Konetta käsitellessä tulee käyttää soveltuvaa vaatetusta, kenkiä, suojalaseja sekä hanskoja. Koneen käydessä on lisäksi huolehdittava kuulonsuojauksesta, sekä huomioitava osien lämpeneminen palovammojen välttämiseksi. On

tärkeää huomioida myös korkean jännitteen tuomat riskit ja sähköturvallisuus. Henkilöstö tulee perehdyttää oikeaoppiseen käyttöön ja turvallisuusmääräyksiin.

3.2 Valmistelevat toimenpiteet

Ennen käyttöönottoa on suoritettava tarkastus toimilaitteiden kunnosta esimerkiksi kuljetuksen aikana tapahtuneiden vaurioiden varalta. Vaurioitunutta laitetta ei saa käyttää, sillä se voi aiheuttaa vaaratilanteen tai pahimmassa tapauksessa vahingon.

Laitteen käyttäjältä vaaditaan perustason tietämystä mekaniikasta, hydraulikasta sekä sähkötekniikasta. Ennen käyttöä tulee tutustua valmistajan ohjeisiin toimilaitteen oikeasta ja virheellisestä käytöstä. Bosch Rexroth listaa seuraavat väärinkäytökset ohjekirjassaan Bosch Rexroth (2024: 10).

- Laitteen käyttö teknisen dokumentaation määrittämien käyttöolosuhteiden tai turvarajojen ulkopuolella.
- Virheellinen asennus tai kokoonpano.
- Virheellinen varastointi tai kuljetus.
- Epäsiisteys varastoinnin, kokoonpanon tai käytön aikana.
- Teknisen dokumentaation määrittämän huoltovälin noudattamatta jättäminen.
- Sopimattomat muutos-, huolto- tai korjaustyöt.

4 Servo ja ohjain

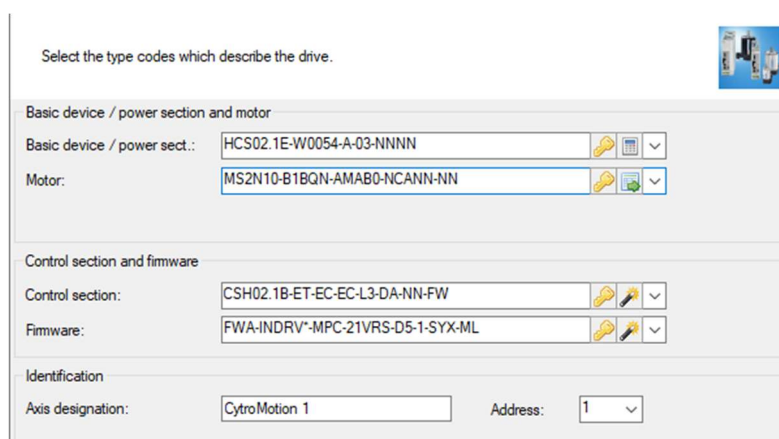
4.1 Perusasioita

4.1.1 Konfiguroinnin aloitus

Käyttöönoton ensimmäinen askel on servolle ja ohjaimelle tehtävä konfiguraatio. Servon konfigurointiin käytetään Bosch Rexrothin *IndraWorks Ds*-ohjelmistoa. Saman valmistajan ohjelmistosta on paljon hyötyä, sillä se vähentää työvaiheita.

Konfigurointia helpottaa se, että kytkettäessä Bosch Rexrothin komponentteja ohjelmisto tuo automaattisesti suurimman osan tarvittavista tiedoista servomoottorin enkooderin datamuistista, tai IndraWorksiin sisällytetystä komponenttikirjastosta. Laitteen tiedot voidaan saada myös valmistajan toimittamasta parametritiedostosta.

Ohjelmisto tukee myös komponenttien manuaalista valitsemista testausta varten sekä muiden valmistajien komponentteja, mutta tässä tapauksessa tiedot ja säätöparametrit on asetettava manuaalisesti. Kuvassa 6 havainnollistetaan komponenttien manuaalista valitsemista simulaatiota varten *Select Connection*-työkalulla.



Select the type codes which describe the drive.

Basic device / power section and motor

Basic device / power sect.: HCS02.1E-W0054-A-03-NNNN

Motor: MS2N10-B1BQN-AMAB0-NCANN-NN

Control section and firmware

Control section: CSH02.1B-ET-EC-EC-L3-DA-NN-FW

Firmware: FWA-INDRV-MPC-21VRS-D5-1-SYX-ML

Identification

Axis designation: CytroMotion 1 Address: 1

Kuva 6. Sähkökäytön, servomoottorin, ohjaimen sekä firmwären manuaalinen valinta.

Konfiguraatiossa on lisäksi datapisteitä, jotka pitää aina asettaa manuaalisesti tai tarkastaa automaattiset arvot. Esimerkiksi sovellettava kenttäväylä, IP-asetukset, akselin tai akselien skaalaus sekä turvarajat tulee asettaa manuaalisesti, sillä ne vaihtelevat käytettävän järjestelmän mukaan.

4.1.2 Kommunikaatioyhteyden määrittäminen

Mikäli servo-ohjaimessa on erillinen Engineering-portti (X26), tulee sitä käyttää ensisijaisena vaihtoehtona yhteyden määrittämiseen. Muissa tapauksissa yhteys onnistuu myös Multi-Ethernet-liitännän (X24/X25) kautta. Kuvassa 7 havainnollistetaan ohjaimen liitännät ilman Engineering-porttia (Rantala 2024).

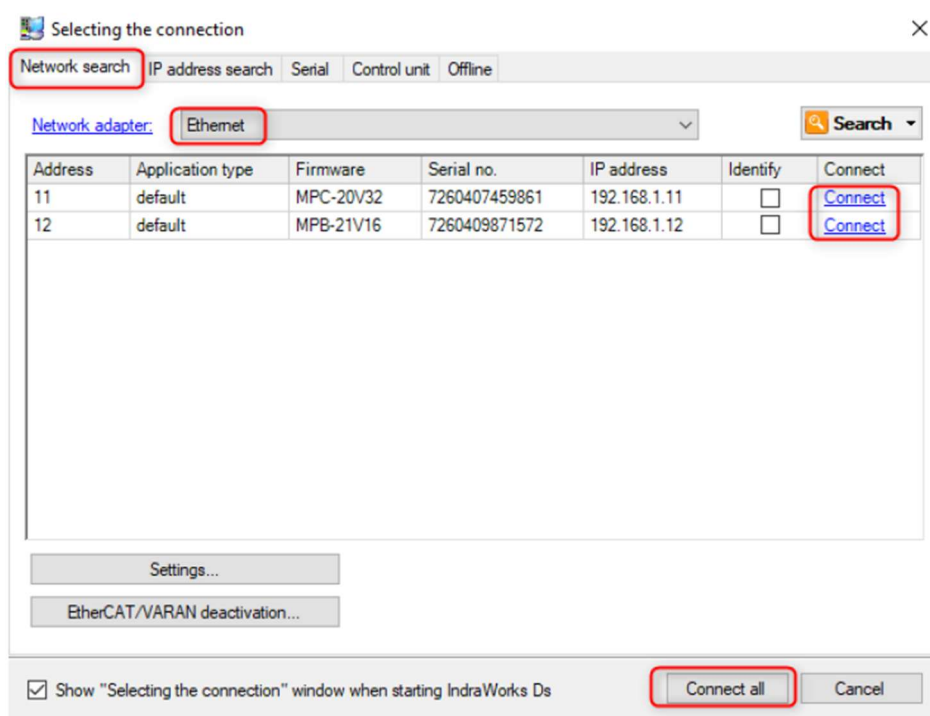


Kuva 7. IndraDrive C:n kommunikaatioliitännät.

Fyysisen kytkennän jälkeen tulee vielä määrittää IP-osoite ja aliverkon peite sekä servo-ohjaimen että ohjelmistoon. Ohjaimen puolen määrittäminen tapahtuu kuvassa 7 vasemmalla näkyvän LCD-paneelin asetuksista. LCD-paneelia käyttäessä on huomioitava, että on valittu oikea portti yhteyttä varten.

Yhteyden määrittäminen IndraWorksissa onnistuu *Select Connection*-työkalulla. Ensimmäinen askel on valita oikea verkkosovitin, jota käytetään yhteyteen. Mikäli fyysinen kytkentä ja aliverkon asetukset on tehty onnistuneesti, tulee

servo-ohjain suoraan näkyville yhteyttä varten. Kuvassa 8 havainnollistetaan yhteyden määrittäminen kokonaisuudessaan.

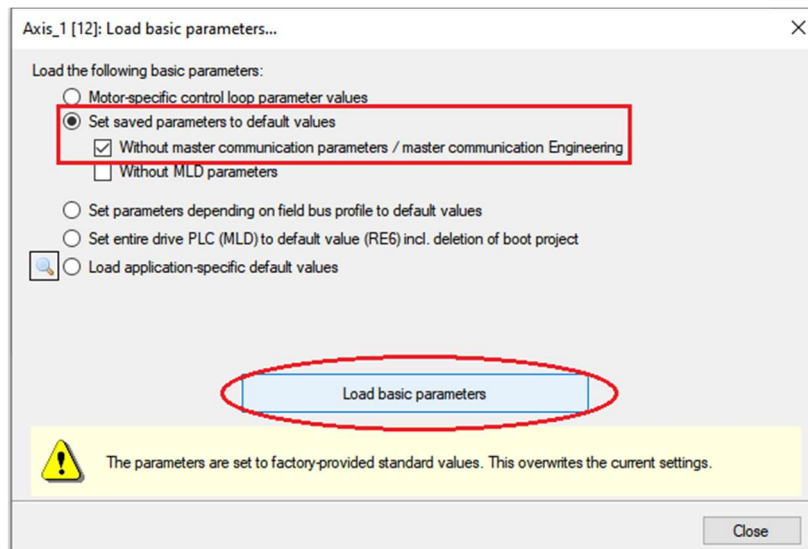


Kuva 8. Yhteyden määrittäminen IndraWorksissa (Rantala 2024).

4.1.3 IndraWorksin perusteet

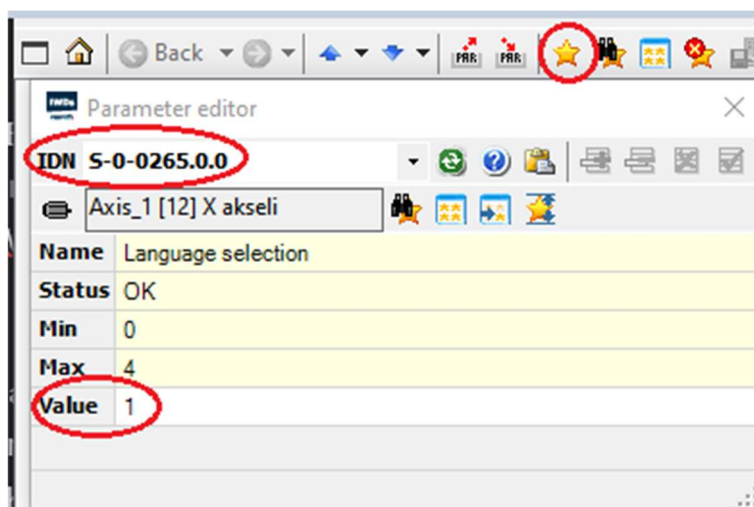
IndraWorksissa on kaksi erillistä käyttömoodia: *Parameterization mode* ja *Operating mode*. Konfiguraatio tapahtuu lähes täysin parametrintimoodissa. Toimilaitteen voi ylipäätään nostaa käyttömoodiin vasta silloin, kun peruskonfiguraatio on suoritettu onnistuneesti.

Uutta konfiguraatiota aloittaessa on suositeltavaa ladata perusparametrit yläpalkista löytyvästä *Commissioning*-välilehdestä. Perusparametreja ladatessa voi valita haluaako jättää esimerkiksi kommunikaatioasetukset ennalleen, jos ne on jo asetettu valmiiksi oikein. Latauksen jälkeen servo-ohjain tulee käynnistää uudelleen. Kuvassa 9 havainnollistetaan perusparametrien asetus ilman kommunikaatioasetuksia.



Kuva 9. Perusparametrien lataus ilman kommunikaatioasetuksia.

Monissa Bosch Rexrothin laitteissa oletuskielenä on saksa, joten kieli kannattaa vaihtaa englanniksi heti alussa. Kielen vaihto onnistuu *Parameter editor*-työkalulla asettamalla parametrin S-0-0265 arvoksi 1. Samalla kannattaa tutustua työkalun toimintaan, sillä editoria käytetään konfiguraation aikana monissa eri vaiheissa. Editorista löytyy paljon yksityiskohtaista tietoa kaikista ohjelmiston parametreista, sekä suora linkki IndraWorksin dokumentaatioon tarkastellusta parametrilla. Kuvassa 10 näkyy kielen valinta kokonaisuudessaan.

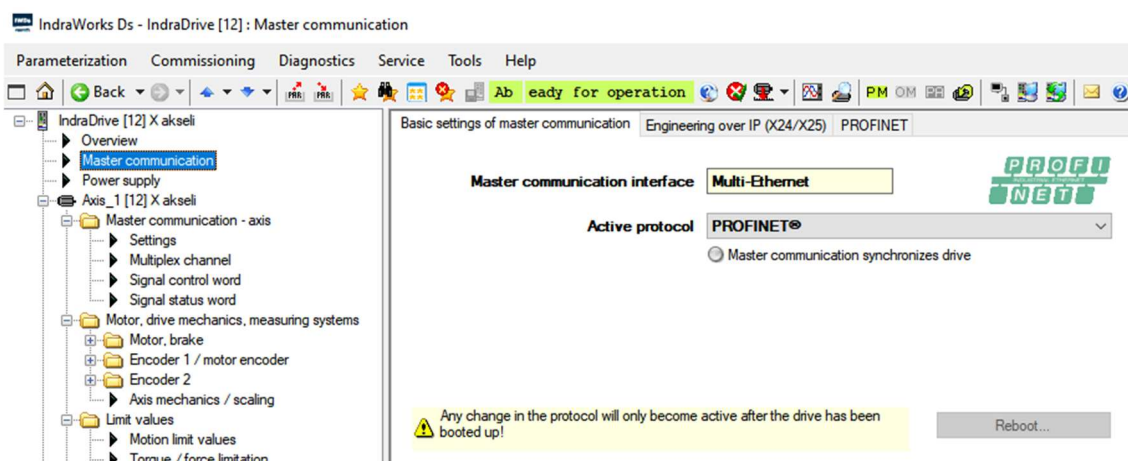


Kuva 10. Kielen valinta Parameter-editorilla.

4.2 Kommunikaatio

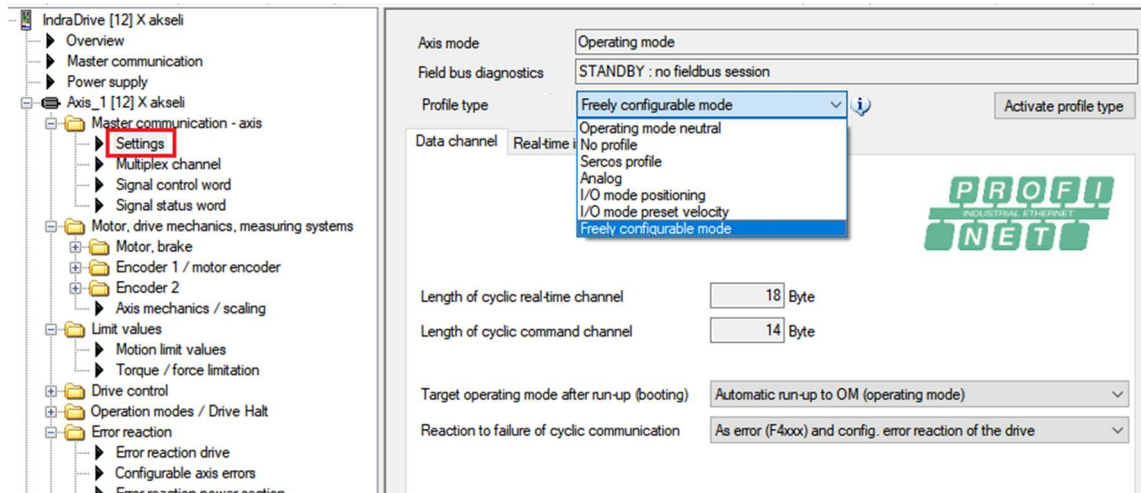
4.2.1 Master Communication

Kommunikaatioyhteyden sekä perusparametrien määrittämisen jälkeen tulee vielä valita ylemmän tason ohjaukseen käytetty protokolla. Projektissa käytetään PROFINET-väylää, joten protokolla valitaan sen mukaisesti. Muutoksen jälkeen servo-ohjain tulee käynnistää uudelleen, sillä protokolla päivittyy vasta sen jälkeen. Kuvassa 11 näkyy PROFINET-protokollan valinta ja Master Communication-asetusten sijainti.



Kuva 11. Protokollan valinta.

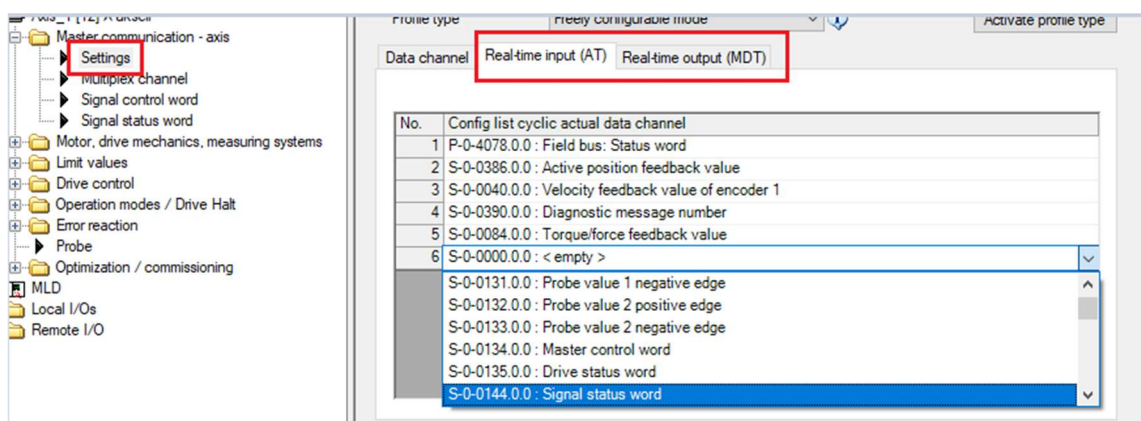
Protokollan valinnan jälkeen tulee vielä valita käytettävä profiili. Erilaisia profiileja on enemmän tai vähemmän riippuen valitusta protokollasta. Konfiguraatiovaiheessa tulee valita *Freely configurable mode*, mikä näkyy kuvasta 12.



Kuva 12. Profiilin valinta.

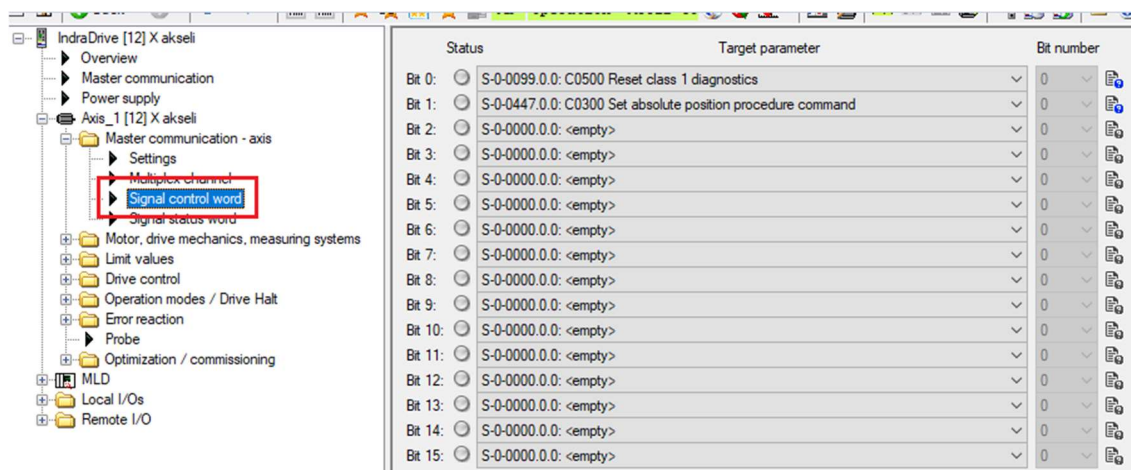
4.2.2 Parametrien alustus

Profiilin aktivoinnin jälkeen *AT- ja MDT- telegrammeihin* (real-time input ja output) voi aloittaa prosessidatan lisäämisen. Listalla näkyy automaattisesti tärkeitä parametrejä kuten nopeuden, paikoituksen ja voiman ohjaus- sekä takaisinkytkennän arvot. Valikossa on satoja muita parametrejä, joita voi lisätä servokäytön tarpeen mukaan. Yksityiskohtaiset tiedot parametreista, niiden halutusta formaatista sekä varatuista biteistä löytyy Parameter-editorista. Kuvassa 13 havainnollistetaan prosessidatan lisääminen.



Kuva 13. Prosessidata AT-telegrammissa.

Useimmissa käytöissä kannattaa lisätä ainakin *Signal status word* (input) ja *Signal control word* (output). Signal status- ja Signal control wordin avulla voi määrittää ylimääräisiä ohjaus- ja statusbittejä tarpeen mukaan, esimerkiksi virheen kuittausta, akselin absoluuttipaikan asetusta tai toimintamoodin vaihtoa varten (Rantala 2024). Kuvassa 14 näkyy Signal control wordin sijainti ja haluttujen parametrien valinta.

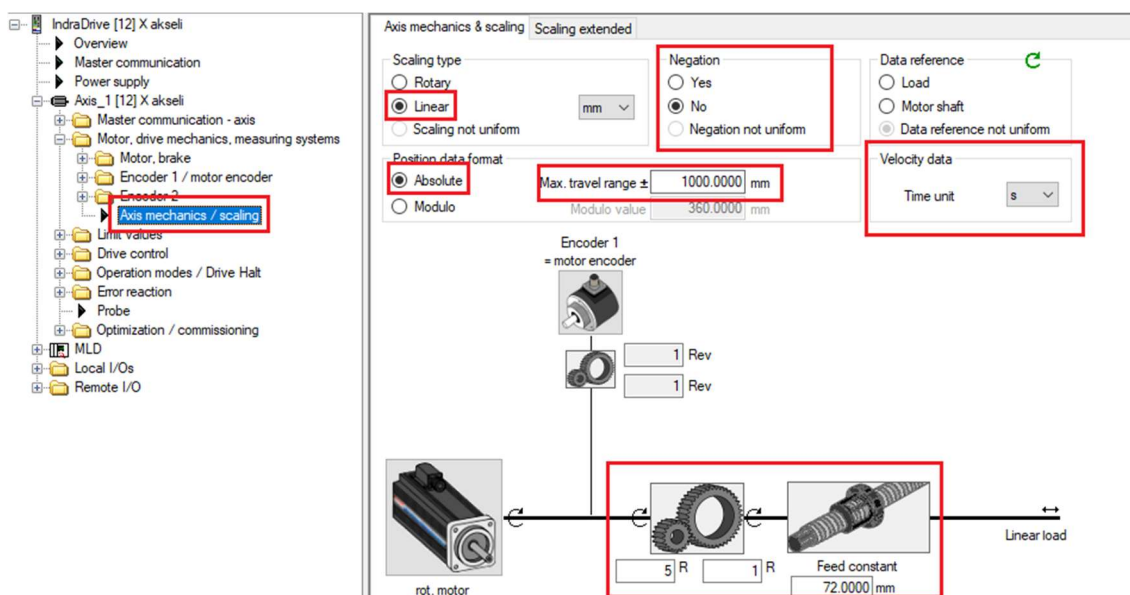


Kuva 14. Signal control wordin parametrit.

4.3 Akseli ja enkooderi

4.3.1 Akselin skaalaus

Akselin tai akselien skaalausasetukset tulee asettaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, sillä ne vaikuttavat moneen asiaan kuten parametrien raja-arvoihin. Skaalausasetuksia määrittäessä on huolehdittava eritoten siitä, että käytetyt yksiköt sekä desimaalien määrät ovat yhtenäisiä ylemmän tason ohjauksen kanssa. (Rantala 2024). Kuvassa 15 näkyy skaalausasetukset sekä niiden tärkeimmät kohdat punaisella.



Kuva 15. Akselin skaalausasetukset.

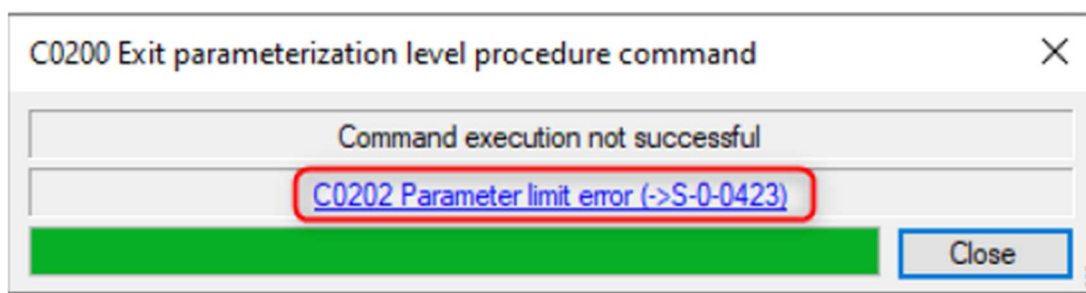
Skaalaus aloitetaan asettamalla haluttu skaalaustyyppi ja dataformaatti, tässä esimerkkitapauksessa *lineaarinen* ja *absoluuttinen*. *Max travel range* eli akselin suurin liikealue tulee asettaa suuremmaksi kuin todellinen liikealue, mutta ei kuitenkaan tarpeettoman suureksi, sillä se vähentää resoluutiota. Liian suuri arvo voi myös estää enkooderin käytön absoluuttienkooderina (Rantala 2024.)

Mikäli liikkeen suunta halutaan kääntää, voidaan asettaa *negaatio* päälle. Tältä välilehdeltä tehty negaatio vaikuttaa automaattisesti paikkaan, nopeuteen ja vääntömomenttiin. Mikäli halutaan negaatio esimerkiksi ainoastaan paikkaan ja nopeuteen, se voidaan tehdä *Scaling extended* -välilehdeltä. Tällöin valinnaksi tulee automaattisesti *Negation not uniform*.

Velocity datan alla sijaitseva *Time unit* vaikuttaa nopeuden skaalaukseen. Oletusarvo on min, mikä tarkoittaa yksikköä mm/min. Yleensä kuitenkin halutaan perusyksikkö mm/s, joten se kannattaa vaihtaa tarpeen mukaan. Tarkemmat yksikköasetukset kaikille skaalauksen osille löytyvät *Scaling extended* -välilehdeltä.

Välilehden alareunasta löytyy *välityssuhde*- sekä *syöttövakioasetukset*. Välityssuhteen arvoja määrittäessä tulee muistaa se, että arvot viittaavat akselien *kierroslukuihin*, eivätkä esimerkiksi hampaiden lukumäärään. Syöttövakio on käytössä ainoastaan lineaariakseleissa, ja se tarkoittaa etäisyyttä minkä lineaariakseli liikkuu vaihteiston ulostuloakselin tai moottorin akselin suorittaessa yhden kierroksen (Rantala 2024).

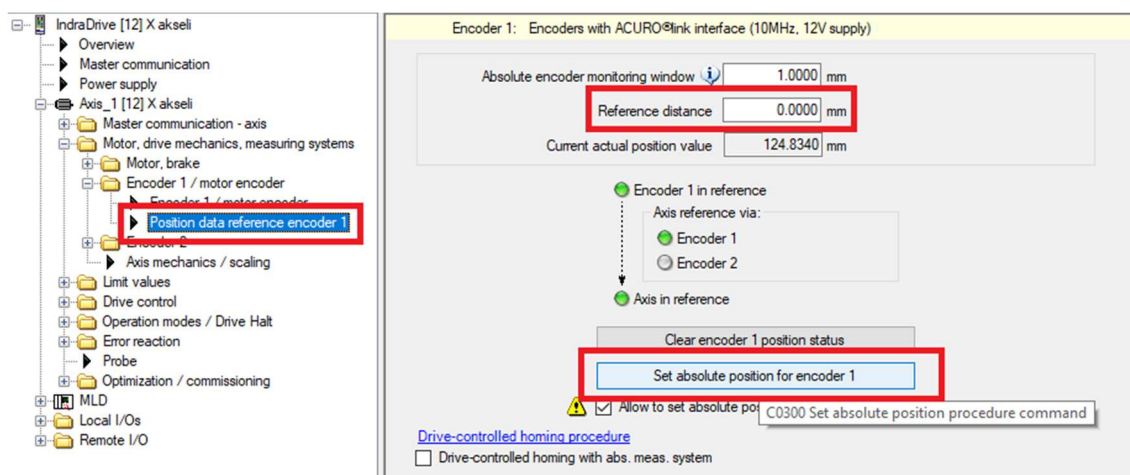
Kun skaalausasetukset on määritetty oikein, tulee ohjain käynnistää uudelleen. Tämän jälkeen voi kokeilla nostoa *Operating modeen*. Parametrien arvot tarkistetaan noston aikana, ja mikäli jokin tai useampi arvo ei ole sallitulla alueella, ei nosto myöskään onnistu. Kuvassa 16 näkyy esimerkki virheellisestä arvosta. Parametrin saa auki painamalla virheilmoitusta, ja tarkat ylä- sekä alarajat parametrille löytyy *Parameter-editorista*.



Kuva 16. Virheilmoitus parametrin rajojen ulkopuolella.

4.3.2 Enkooderin referenssipiste

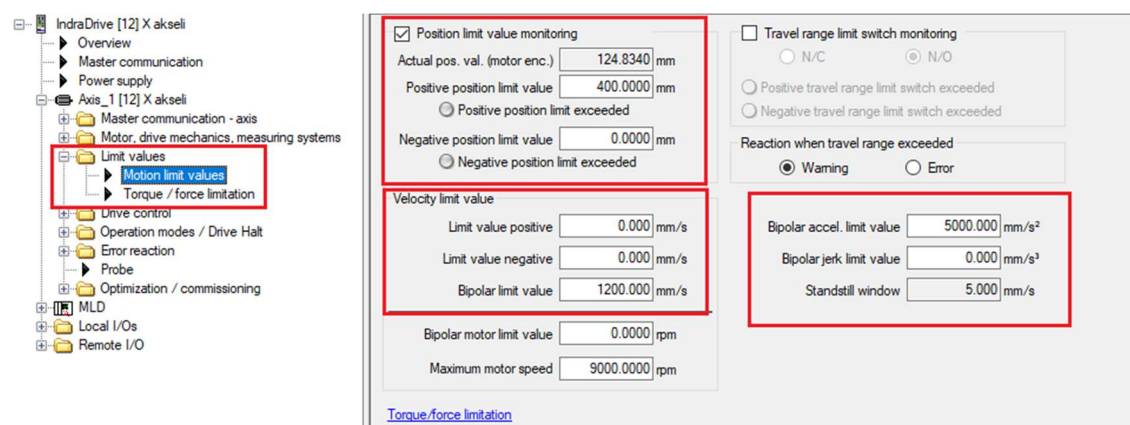
Käytettäessä Bosch Rexrothin servomoottoria IndraWorks tunnistaa enkooderin tiedot automaattisesti. Jos käytössä on absoluuttienkooderi, tulee sille määrittää referenssipiste. Referenssipisteen määrittäminen tapahtuu enkooderin asetuksista, joka näkyy kuvasta 17.



Kuva 17. Absoluuttienkooderin referenssipisteen määrittäminen.

4.3.3 Turvarajat

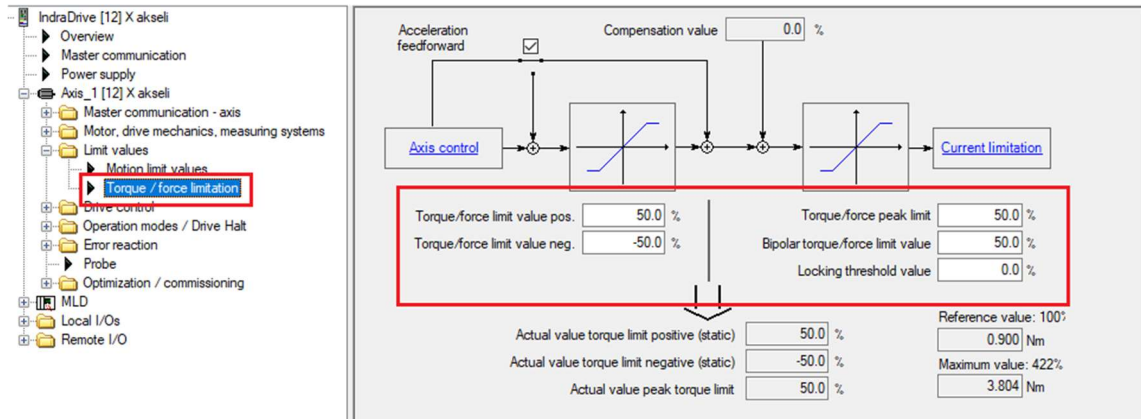
Akselin toimintaa voidaan rajoittaa erilaisin parametrein. Raja-arvoja voidaan asettaa akselin paikalle, nopeudelle, kiihtyvyydelle sekä *jerkillle* (heilauttava liike). Liikettä voidaan rajoittaa myös asentamalla rajakytkimet akselin päätyihin, joiden tilaa valvotaan inputteina. Kuvassa 18 näkyy turvarajojen sijainti.



Kuva 18. Akselin paikan, nopeuden ja jerkin turvarajat.

Liikkeen nopeutta voidaan rajoittaa symmetrisesti kumpaankin suuntaan, tai määrittää eri rajat positiiviselle ja negatiiviselle suunnalle. Nopeuden ylärajan tulee olla jonkin verran suurempi kuin itse akselille asetettu suurin nopeus, tai liike saattaa tuottaa virheilmoituksen ja pysähtyä.

Vääntömomenttia voidaan rajoittaa samalla tavoin symmetrisesti tai erikseen kumpaankin suuntaan. Huomioitavaa on kuitenkin se, että osa vääntömomentin raja-arvoista ei vaikuta virhereaktioiden aikana (Rantala 2024.) Kuvassa 19 havainnollistetaan vääntömomentin raja-arvojen asetuksia.

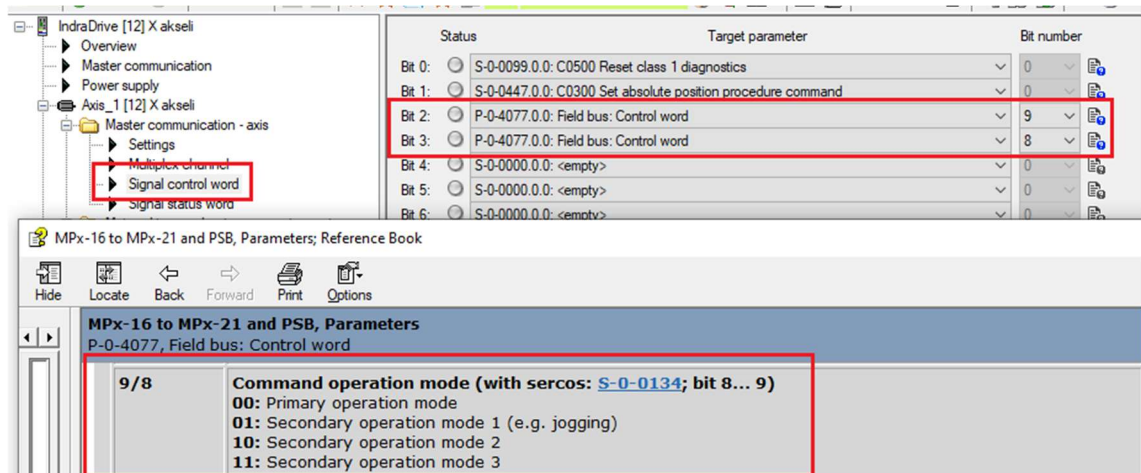


Kuva 19. Vääntömomentin raja-arvot.

4.4 Toimintatilat

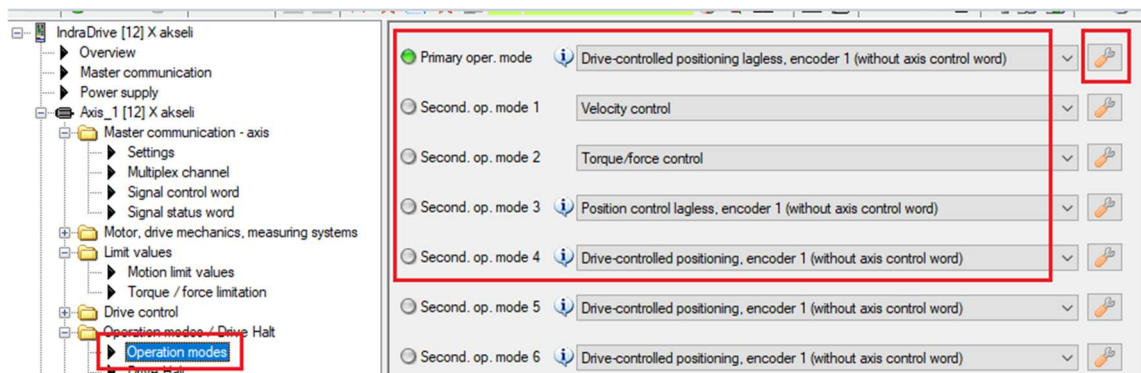
Servokäytön toimintatilat ovat yksi tärkeimmistä asetuksista riippumatta sovelluksesta. IndraWorks mahdollistaa yhden ensisijaisen toimintatilan, sekä seitsemän toissijaista tilaa. Käytettävät tilat tulee määrittää etukäteen, mutta aktiivinen toimintatila voidaan vaihtaa joko ylemmän tason ohjauksen kautta tai suoraan IndraWorksista tarvittaessa.

Aktiivisen toimintatilan valinta löytyy komentosanaparametrissa *P-0-4077*, ja sille on varattu kaksi bittiä. Parametriä käytettäessä on huomioitava se, että vaikka IndraWorks mahdollistaa kahdeksan eri toimintatilaa, kahdella bitillä voidaan käyttää niistä vain neljää. Kuvassa 20 havainnollistetaan parametrin *P-0-4077* asetukset osaksi kontrolloitua prosessidataa, sekä toimintatilan vaihtoon käytetyt bitit IndraWorksin apukirjastosta.



Kuva 20. Toimintatilanvalinta käyttäen prosessidataa.

Toimintatiloja on monia, ja niitä voi tarkastella sekä muokata *Operation modes*-välilehdeltä. Lähes jokaisen toimintatilan ohjearvoa voi muokata erilaisilla suodattimilla sekä rampeilla. Kuvassa 21 näkyy yleisimpiä toimintatiloja, sekä niiden asetukset oikealla.



Kuva 21. Yleisimpiä toimintatiloja sekä niiden asetukset.

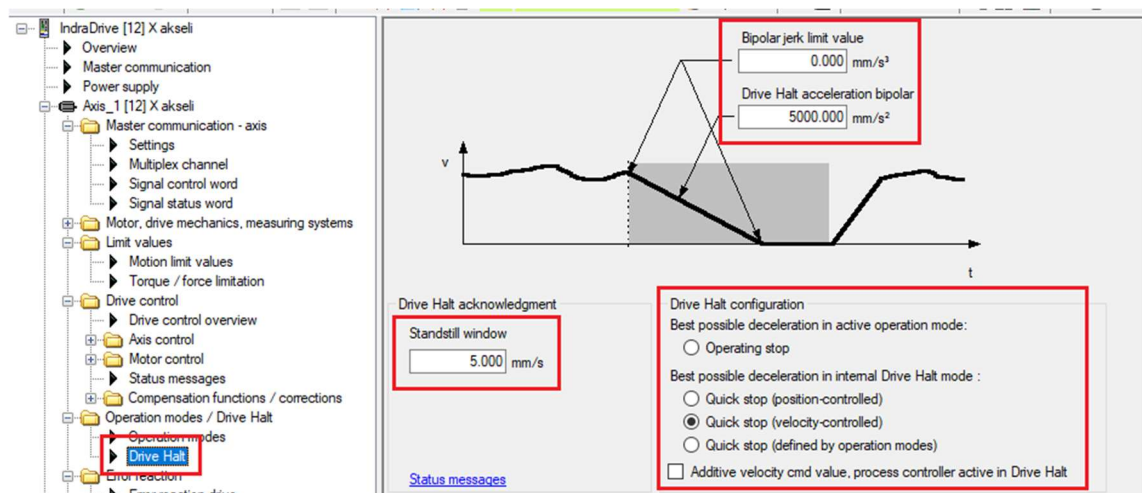
4.5 Drive Halt

Drive Halt on toiminto, jolla servolle tehdään hallittu pysäytys määriteltyjen raja-arvojen mukaisesti. Toiminnon voi kutsua komentosanan *P-0-4077* bitistä 13, samalla tavoin kuin kuvassa 18. Jarrutus voidaan tehdä aktiiviseen

toimintamoodiin mukautettuna tai *Quick stop*-toimintona, jolloin jarrutusrampin ohjaamiseen käytetään esimerkiksi ainoastaan nopeuden tai paikan arvoa.

Jarrutusramppiin vaikuttaa alkunopeus sekä Drive Haltin asetuksiin valitut raja-arvot kiihtyvyydelle sekä jerkille. Jerkin arvoja muutettaessa on huomioitava se, että jarrutusramppi voi olla odotettua pidempi. On suositeltavaa jättää arvoksi 0, tai käyttää riittävän isoa lukua (Rantala 2024).

Asetuksista löytyy lisäksi *Standstill window*, joka määrittää nopeudelle alarajan. Kun nopeuden arvo saavuttaa rajan, siirtyy nopeusohjeen arvo askelmaisesti suoraan nolnaan. On siis tärkeää asettaa Standstill window riittävän pieneksi (Rantala 2024). Kuvassa 22 näkyy Drive Haltin konfigurointiin käytetyt asetukset.



Kuva 22. Drive Haltin asetukset.

4.6 Virhetilanteet

4.6.1 Virhereaktiot

IndraWorks mahdollistaa jarrutustavan konfiguroinnin eri virheluokille. Luokkia on kolme: F2/F3/F4, F6/F7 sekä F8. Virheluokkien vakavuus nousee numeerisesti, F2 lievin ja F8 vakavin. Jarrutustavat ovat seuraavat:

- *Velocity command value reset*
 - Ei jarrutusramppia, raju pysäytys.

- *Velocity command value reset with ramp and filter (Quick stop)*
 - Pysäytys jarrutusrampilla.
 - Signaalin suodatus käytössä, mikäli käytetään jerk limittiä.

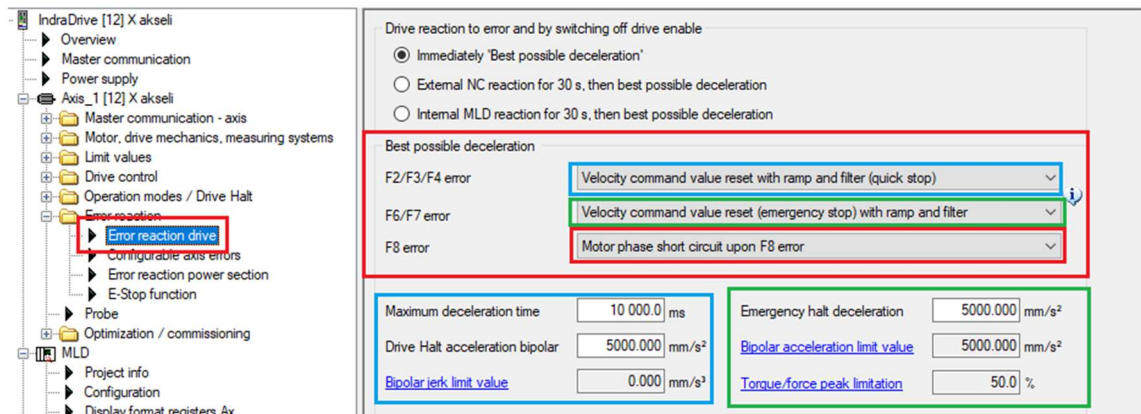
- *Velocity command value reset (Emergency stop) with ramp and filter*
 - Sama kuin aikaisempi, mutta eri raja-arvot (Quick stop vs Emergency stop).

- *Torque disable*
 - Moottori pääsee rullaamaan vapaasti.

- *Motor phase short circuit upon F8 error*
 - Moottoria jarrutetaan kytkemällä vaihteet oikosulkuun.

Virhereaktioiden asetukset löytyvät *Error reaction drive* -välilehdeltä.

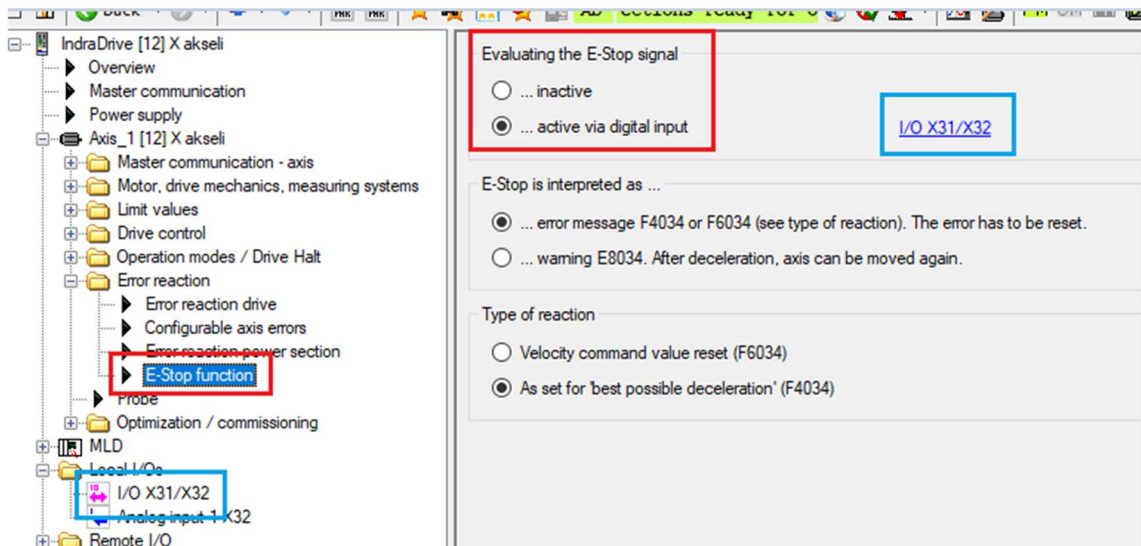
Asetuksista voi muuttaa jarrutustavat eri virheluokille, sekä tarvittavat raja-arvot käytettäessä jarrutusramppia. Kuvassa 23 havainnollistetaan eri asetuksia.



Kuva 23. Virhereaktioiden asetukset.

4.6.2 E-Stop

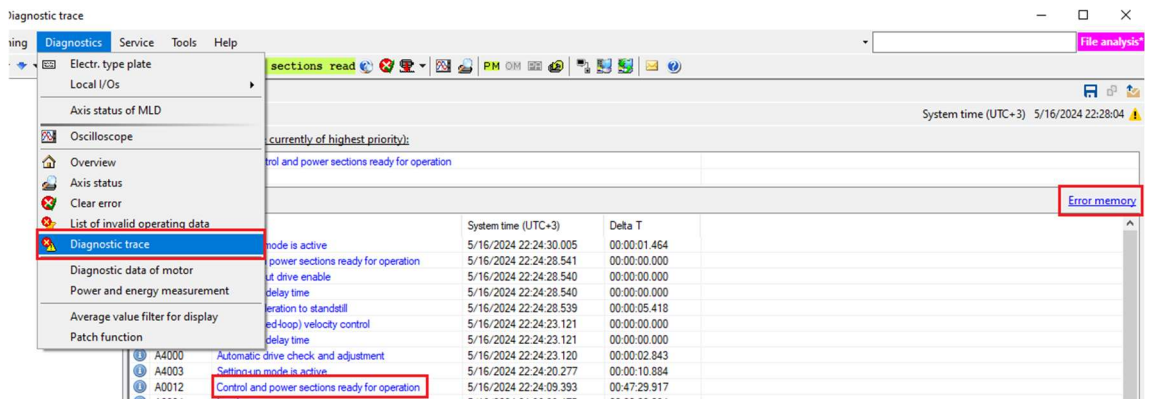
E-stop on erillinen pysäytystoiminto, jota voidaan käyttää ylemmän tason ohjauksen kautta kytkemällä se digitaaliseen inputtiin. E-stop voidaan konfiguroida luomaan kuitattavan virheilmoituksen, tai pelkästään varoituksen, joka ei vaadi erillistä kuittausta (Rantala 2024). Jarrutustavalle on kaksi vaihtoehtoa, jarrutus ilman ramppia tai F4 virheluokalle määritetty virhereaktio. E-stopin asetukset näkyvät kuvasta 24.



Kuva 24. E-stopin asetukset.

4.7 Diagnostiikka

Konfiguraation virhetilanteessa diagnostiikkatiedot ja virhemuisti löytyvät *Diagnostic trace* -toiminnolla. Näytetyt tiedot ovat suppeita, mutta klikkaamalla diagnostiikka- tai virheilmoitusta IndraWorksin kirjastosta saa lisätietoja. Toiminnon sijainti sekä vaihto diagnostiikka- ja virhetietojen välillä näkyy kuvasta 25.

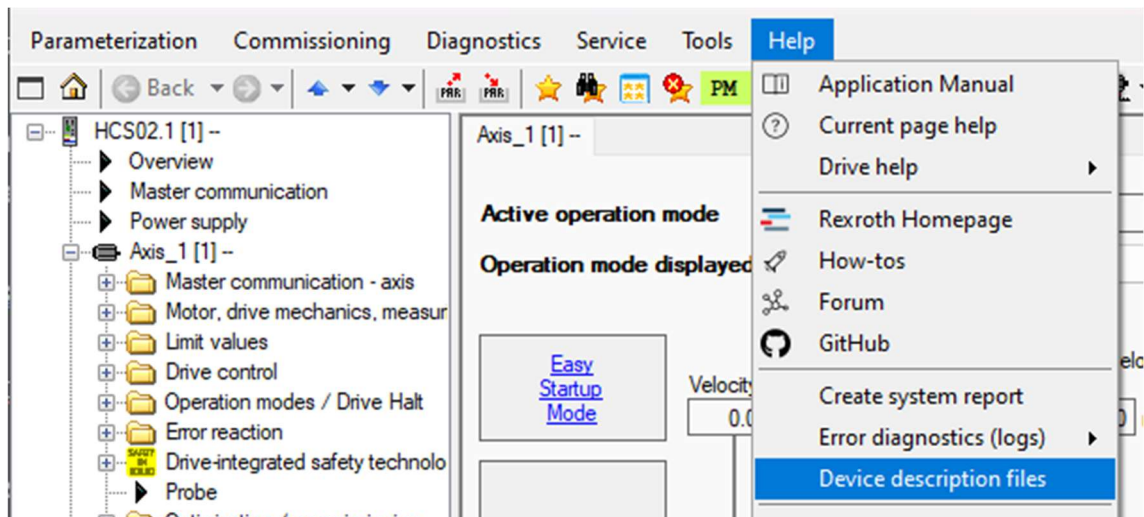


Kuva 25. Diagnostiikka- ja virhetiedot.

5 Ylempi ohjaus

5.1 Ohjauksen toteutus sekä ohjelman vaatimukset

Sovelluksessa on käytössä B&R Automationin PLC, joten luonnollisesti rajapinnan määrittämiseen ja prosessin ohjelmointiin käytetään B&R:n Automation Studiota. Käytössä on PROFINET-väylä. Servon ja ohjaimen tiedot sekä ohjausparametrit saadaan ohjelmistolle GSDML-tiedoston kautta. Tiedoston lataaminen IndraWorksin kautta havainnollistetaan kuvassa 26.



Kuva 26. GSDML-tiedostojen sijainti IndraWorksissa.

Ohjelman vaatimuksena on toteuttaa kokoonpanopuristuksen työkierto, samalla tarkkaillen puristuksen raja-arvoja sekä tallentaen haluttua prosessidataa. Ohjelman ei tarvitse automaattisesti määrittellä erilaisten lämmönsiirtimien parametreja. Kaikki tarvittava kuten liikkeiden paikoitukset, servon kiihtyvyys ja vääntömomentti on ennalta määritetty ohjelmassa, tai tulee erikseen HMI:n kautta prosessioperaattorilta.

Virhetilanteita tulee tarkkailla koko työkierron aikana. Virheen tapahtuessa servo tulee heti pysäyttää STO:lla, minkä jälkeen viivästetty E-stop. Ohjelmoinnin on lisäksi pidettävä huoli siitä, että operaattori kuittaa kaikki virheet erikseen HMI-paneelista tai servoa ei voi käyttää.

5.2 IndraWorksin parametrit

Ylempään ohjaukseen tarvittava prosessidata määritetään ensin IndraWorksin kautta. Taulukossa 1 esitellään signaalit, joita vaaditaan servon ohjaamiseen vaatimusten mukaisesti.

Kaikilla signaaleilla on oma tehtävänsä. Statusbitit *StatusWord* sekä *Signal/StatusWord* määrittävät servon tai ohjaimen eri tiloja, kuten servo päällä, servo liikkeessä tai virhetilanne. Virhetilanteessa *DiagMsgNumber* tuo

virhekoodin ylemmälle ohjaukselle, ja sitä kautta operaattorin nähtäväksi HMI-paneeliin.

Analogiset inputit *VelocityFbkValueOfEnc1*, *TorqueForceFbkValue2*, *ActVelocityValOfMotor* ja *ActivePosFbkValue* ovat käytössä erityisesti puristusvaiheessa, jossa niitä käytetään puristuksen tulosten valvontaan. Arvot ovat myös operaattorin nähtävillä HMI-paneelissa, sekä tallennetaan muistiin prosessin tarkkailemiseksi.

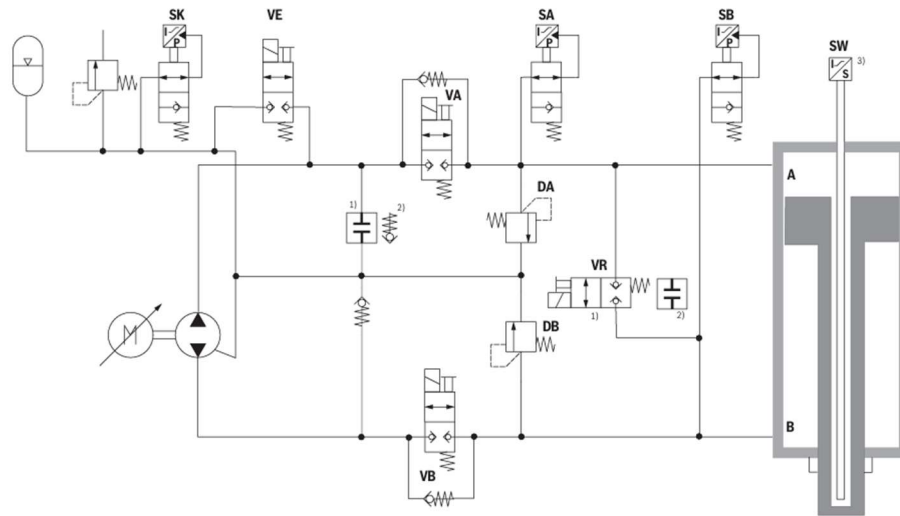
Statusbittien vastakohtana ohjausbittejä *ControlWord* ja *SignalControlWord* käytetään servon ja ohjaimen eri tilojen ohjaamiseen. Käytössä on lisäksi *HydFunctionControlWord*, jota käytetään CytroMotionin hydraulisten toimintojen ohjaamiseen. Ohjausbitillä saadaan luotua suora yhteys ylemmän tason ohjauksen ja CytroMotionin hydraulisten venttiilien välillä, ja sitä kautta vaihdettua puristimen eri toimintatiloja työkierron vaatimusten mukaan.

Kaikki analogiset outputit ovat käytössä työkierron, erityisesti puristuksen toteutuksessa. Outputteilla ohjataan kaikki liikenopeudet, rampit sekä paikoitukset eri työvaiheissa.

5.3 Hydrauliiikan toimintatilat

Cytmotionin hydraulinen puoli toimii suljetussa järjestelmässä, mutta sylinterin toimintatilaa voidaan muuttaa ylemmän ohjauksen kautta *HydFunctionControlWord*:illa. Toimilaitteessa on käytössä kaksitoiminen sylinteri, jonka toimintaa voidaan ohjata neljällä venttiilillä. Kuvassa 27 näkyy toimilaitteen hydraulikaavio.

Function: Hydraulic circuit diagram



Kuva 27. CytroMotionin hydraulikaavio (Bosch Rexroth 2024: 43).

HydFunctionControlWord:in kautta voidaan asettaa kuusi eri toimintatilaa. Eri toimintatilat ja niihin käytettävät venttiilit määritellään kuvassa 28.

Sovelluksessa ei käytetty *Hold force*- tai *Hold traction force*-toimintatiloja, sillä niitä ei todettu tarpeelliseksi.

Valve	VA	VB	VE	VR	Motor rotation direction ³⁾
Basic position	- 1)	-	-	-	-
Force traverse, extending	+ 2)	+	-	-	right (clockwise)
Extending reduced-force rapid traverse (regenerative mode)	+	-	-	+	right (clockwise)
Retraction	+	+	+	-	left (anti-clockwise)
Hold force generated by pressure	- 4)	+	-	-	-
Hold traction force	+	- 4)	-	-	-

1) - → 2/2 directional seat valve, without current

2) + → 2/2 directional seat valve, with current

Kuva 28. CytroMotionin toimintatilat (Bosch Rexroth 2024: 43).

Basic position: Servomoottori on kytkettynä pois päältä tai virrattomana.

Venttiilit ovat virrattomana, ja hydraulinesteen kulku sylinterin kammioiden välillä on estetty.

Force traverse, extending: Servomoottori on päällä ja kiertää myötäpäivään.

Virta kulkee venttiileissä VA ja VB avaten ne, mahdollistaen hydraulinesteen

liikkeen. Puuttuva tilavuusvirta saadaan kompensattorilta erillisen venttiilin kautta. Hydraulineste liikkuu sylinterin B-puolelta A-puolelle, ja sylinteri suorittaa plusliikkeen.

Reduced-force rapid traverse extension: Servomoottori on päällä ja kiertää myötäpäivään. Virta kulkee venttiileissä VA ja VR. Hydraulineste pumpataan venttiilin VA kautta sylinterin A-puolelle. Puuttuva tilavuusvirta saadaan kompensattorilta. Pumpun lisäksi hydraulineste ohjataan venttiilin VR kautta sylinterin B-puolelta A-puolelle. Toimintatilalla saadaan aikaan lähes tuplattu liikenopeus, mutta samalla voimantuotto puolittuu.

Retraction: Servomoottori on päällä ja kiertää vastapäivään. Virta kulkee venttiileissä VA, VB ja VE. Hydraulineste liikkuu sylinterin A-puolelta B-puolelle. Ylimääräinen tilavuusvirta ohjataan kompensattorille venttiilin VE kautta. Sylinteri suorittaa miinusliikkeen.

Hold force generated by pressure: Servomoottori on kytkettynä pois päältä tai virrattomana. Virta kulkee ainoastaan venttiilissä VB, vapauttaen paineen sylinterin B-puolelta. A-puolen paine on lukittu, joten sylinterin voimantuotto pysyy vakiona.

Hold traction force: Servomoottori on kytkettynä pois päältä tai virrattomana. Virta kulkee ainoastaan venttiilissä VA, vapauttaen paineen sylinterin A-puolelta. B-puolen paine on lukittu, joten sylinterin tuottama kitkavoima pysyy vakiona.

5.4 Ohjelman rakenne

Ohjelman työvaiheet ovat seuraavat:

1. Laitteistoon kytketään virrat. Operaattorin tulee tehdä "startup check" HMI-paneelia käyttäen, jonka aikana puristin varmistaa paikoituksen sekä vaadittavat parametrit. Virhekoodit on myös kuitattava.

2. Jos startup check ok, muut toiminnot avautuvat. Operaattori asettaa HMI-paneelista erän tiedot, esimerkiksi 100 kpl kokoa X. Operaattori varmistaa vielä erän, jonka jälkeen prosessi alkaa valitun kokoiselle tuotteelle.
3. Puristin siirtyy tarvittaessa asemaan valmiina prosessia varten.
4. Kuljetinrata alkaa liikkua. Master PLC vastaanottaa kuljetinradan anturointitietoa, ja pysäyttää lämmönsiirtimen puristimen kohdalle.
5. Puristimen runkoon kiinnitetty ulkoinen anturi varmistaa, että paletilla on lämmönsiirrin.
6. Ylemmän tason ohjauksen kautta varmistetaan, että puristin on oikeassa tilassa sekä lämmönsiirrin ja paletti on paikoitettu.
7. Mikäli puristin on oikeassa tilassa ja paikoitus on varmistettu, Master PLC lähettää puristuskäskyn. Puristin tekee nopean liikkeen (*Rapid traverse*) lähelle itse puristusvaihetta.
8. Sopivalla etäisyydellä puristimen liike vaihdetaan hitaaksi (*Force traverse*) hydraulisten toimintojen ohjausbitillä.
9. Puristus suoritetaan, samalla mitaten raja-arvoja. Kun oikea etäisyys on saavutettu, pysäytetään puristin hetkeksi (*Basic position*).
10. Puristuksen onnistuminen todetaan akselin paikkatiedon ja puristimen voima-anturin avulla. Voima ei saa nousta liian suureksi ennen haluttua paikoitusta, ja sen pitää olla halutuissa rajoissa paikoituksen ollessa oikea.
11. Puristuksen loputtua suoritetaan lyhyt hidas liike alaspäin (*Retraction*). Samalla prosessidata tallennetaan valvontaa varten.

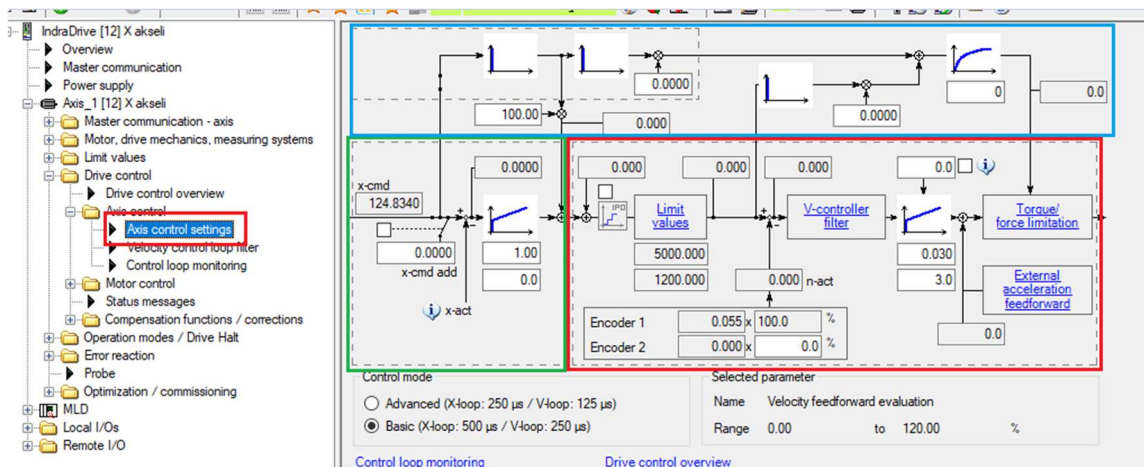
12. Puristin palaa alkuasemaan nopealla liikkeellä (*Rapid traverse*).
13. Ylempi ohjaus lähettää käskyn kuljetinradalle: valmis kappale eteenpäin ja uusi tilalle.
14. Kierro toistetaan kunnes operaattorin määrittelemä erä on valmis.

6 Säätö

6.1 Servon säätimet

Servon toimintatilan mukaan säätöpiirissä on mukana paikkasäädin, nopeussäädin, virtasäädin sekä nopeuden/kiihtyvyyden myötäkytkennät. Valittaessa esimerkiksi nopeussäätötila asemasäädin ei ole käytössä, kun taas vääntömomenttitilassa myös nopeussäädin jää pois käytöstä.

Käyttäessä Bosch Rexrothin moottoria ohjelmisto lataa säädön oletusarvot datamuistista automaattisesti. Oletusarvot ovat yleensä hyvä lähtökohta, eikä niitä välttämättä tarvitse muuttaa riippuen sovelluksesta. Mikäli säätöpiirejä tarvitsee optimoida, löytyvät säätöasetukset *Axis control settings*-välilehdeltä. Kuvassa 26 näkyy säätimien asetukset: nopeussäädin punaisella, asemasäädin vihreällä sekä nopeuden ja kiihtyvyyden myötäkytkennät sinisellä.



Kuva 29. Säätöpiirien asetukset.

6.2 Säädon toteutus

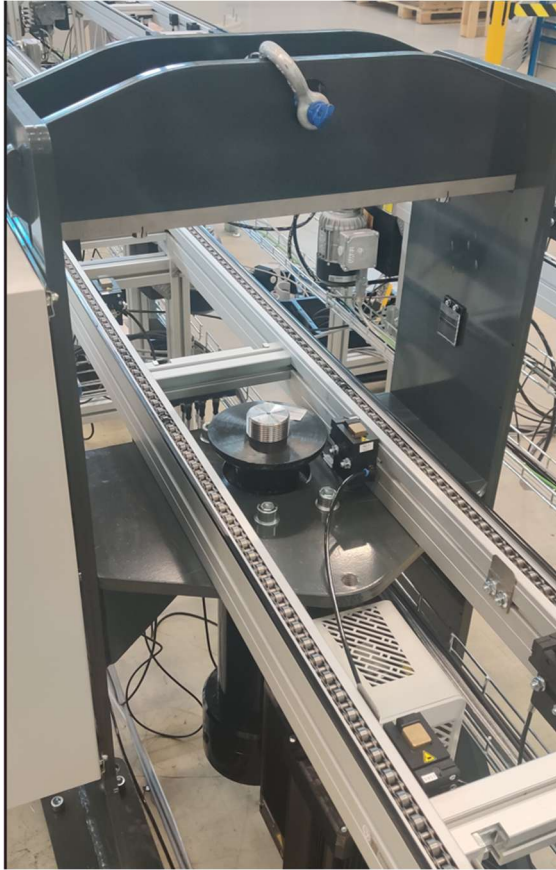
Mikäli CytroMotionin säätimiä tarvitsee optimoida, tulee säädössä noudattaa sisältä ulospäin-ajattelua. Sisimpänä säätöpiirinä toimii nopeussäädin, joten se täytyy virittää ensin.

Säätö alkaa nostamalla *proportional gain*:in arvoa (K_p) siihen asti, että säätöpiiri alkaa värähdellä. Värähtelyn jälkeen arvoa lasketaan, kunnes haluttu viritys on saavutettu. Säätöpiiriin voidaan lisäksi lisätä integrointiaikaa (T_i) jos ohjearvon ja todellisen arvon välillä on poikkeamaa, tai käyttää erilaisia vaimennuksia resonanssien vähentämiseksi.

Tarvittaessa asemasäädintä voidaan virittää nostamalla K_v -arvoa. Arvon nostaminen pienentää jättämää, mutta CytroMotionin tapauksessa jättämä on varsin pieni. Asemasäätimen optimointi on tärkeää suurta tarkkuutta vaativissa sovellutuksissa, jossa tavoitteena on säätöpiirin hyvä reagointi ulkoisiin häiriöihin.

7 Käyttöönotto

Käyttöönotto alkoi laitteiden valmistelemisellä sekä mekaanisella kokoonpanolla loppukesästä 2024. CytroMotion sekä puristimen runko asennettiin paikoilleen kuljetinlinjastolle. Samalla servo-ohjain, sähkökäyttö sekä tarvittava I/O asennettiin paikoilleen erilliseen kaappiin puristimen rungossa. Mekaanisen kokoonpanon jälkeen suoritettiin kaapelointi, ja puristimen runkoon asennettiin ulkoinen anturi lämmönsiirtimien tunnistamista varten.



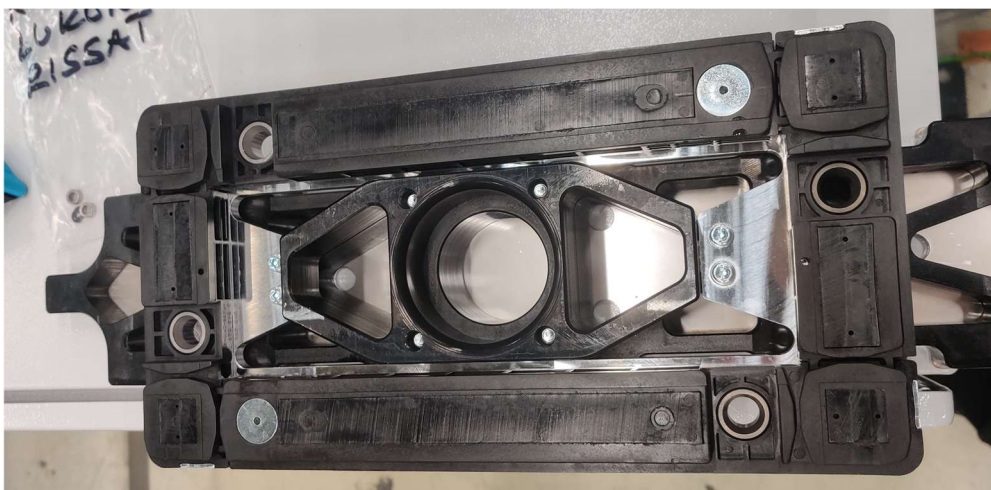
Kuva 30. Puristimen runko sekä CytroMotion asennettuna.

Servon ja ohjaimen ohjelmistupuolen käyttöönotossa oli auttamassa henkilöstöä Bosch Rexrothilta. IndraWorksin kanssa työskennellessä kävi ilmi, että toimitetun CytroMotionin muistista puuttui vaadittua dataa esimerkiksi servon enkooderiin liittyen. Datan puuttuminen aiheutti useamman viikon viivästymisen käyttöönotossa, sillä servoa ei voinut käyttää ennen kuin tarvittavat tiedot saatiin Bosch Rexrothilta Saksasta.

Bosch Rexrothin avulla servon sisäinen data ja ohjelma saatiin korjattua. Viivästyksen jälkeen servo saatiin liikkumaan, mikä mahdollisti työn aloittamisen ylemmän tason ohjauksen kanssa. IndraWorksiin asetettiin tarvittavat parametrit, ja GSDML-tiedoston avulla saatiin yhteys Master PLC:lle sekä Automation Studioon.

Puristuskierron ohjelmoinnissa hyödynnettiin tilakoneajattelua. Ohjelma koostuu kahdeksasta eri tilasta rakenteineen, ja tilojen välillä liikutaan, kun ennalta määritetyt ehdot täyttyvät. Tilakoneen etuna on servon työvaiheiden selvä jaottelu, sekä helposti ymmärrettävä ja yksinkertainen koodi. Ohjelman valmistuessa servon testaus pystyttiin aloittamaan.

Testauksen ensimmäinen tavoite oli selvittää puristuskierrolle sopivat liikenopeudet, rampit ja paikoitukset. Testauksissa huomattiin, että alun perin puristukseen suunniteltu jigi ei soveltunut lämmönsiirtimien puristamiseen epätasaisen voimansiirron takia. Puristimeen suunniteltiin uusi jigi sekä kiinnike, joilla puristusvoima levisi tasaisesti.



Kuva 31. Uusi puristukseen soveltuva jigi.

Testaus ja ohjelmoinnin kehitys jatkui koko syksyn ja alkutalven ajan. Puristus saatiin toimimaan hyvin, eikä servon säätämislle ilmennyt tarvetta. Loppuvaiheen kehityskohteita olivat prosessin mittausten kohinan vähentäminen, sekä tarpeettomien virhekoodien tai hälytysten poistaminen operaattorin työn helpottamiseksi.

Testauksen viimeinen vaihe oli FAT-ajojen suorittaminen, joka aikataulutettiin joulukuulle 2024. Asennustyöt asiakkaalla alkoivat tammikuussa 2025.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda ennakoivasti Etteplanin asiakasprojektiin laaja kirjallisuusselvitys CytoMotion-toimilaitteen käyttöönotosta, sekä dokumentoida käyttöönoton prosessi varmistuen selvityksen tiedot. Ennakoivaa selvitystä vaadittiin, sillä toimilaitte on täysin uusi markkinoilla, eikä yrityksellä ollut siitä aikaisempaa kokemusta.

Prosessi alkoi yhteistyössä Etteplanin kanssa koko projektin esittelyllä ja tavoitteiden määrittämisellä. Esittelyssä käytiin läpi asiakkaan prosessoimat tuotteet ja prosessin vaatimukset, automatisointikokonaisuuden suunnittelu, käytetty laitteisto ja niiden sijoittaminen lattiatilaan sekä projektin aikataulu. Projektin esittelyn jälkeen opinnäytetyön aihe käytiin vielä läpi tarkemmin, jonka jälkeen aloitettiin kirjallisuusselvityksen tiedonhaku.

Kirjallisuusselvitykseen käytettiin lähes poikkeuksetta Bosch Rexrothin verkosta löytyviä materiaaleja. Selvityksen loppupuolella Etteplanin projektiryhmä osallistui Bosch Rexrothin koulutukseen, jossa IndraDrive-sarjan servo-ohjainten käyttöönoton prosessi käytiin yksityiskohtaisesti läpi. Koulutuksen materiaaleja hyödynnettiin lähteenä kirjallisuusselvityksessä.

Käyttöönotto suoritettiin yhteistyössä Bosch Rexrothin henkilöstön kanssa. Käyttöönoton alussa vastoinkäymiset aiheuttivat useamman viikon viivästymisen, mutta toimilaitte saatiin lopulta liikkumaan sekä yhteys ylemmän tason ohjaukselle. Käyttöönotto jatkui puristuskierron ohjelmoinnilla sekä puristuksen testaamisella.

Opinnäytetyössä päästiin hyvään lopputulokseen. Kirjallisuusselvitys antaa kuvan kyseisen laitteiston käyttöönoton eri vaiheista, mutta sitä ei välttämättä voi soveltaa muihin konfiguraatioihin. Etteplan voi käyttää valmista työtä osana käyttöönoton dokumentaatiota, jos samaa toimilaitetta tai servo-ohjainta käytetään tulevassa projektissa.

Lähteet

Bosch Rexroth. Self-contained actuator Type CytroMotion RE62290-B. 2024. Verkkoaineisto. <<https://www.boschrexroth.com/en/us/media-details/a25c4c2d-9c4c-4a7f-9c5f-5d32569064aa>>. Päivitetty 01.04.2024. Luettu 26.04.2024.

SFS-EN ISO 4413. 2011. Hydraulinen tehonsiirto. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.

Rantala, Matti. 2024. IndraDrive parametointi. Yrityksen sisäinen aineisto. Bosch Rexroth Oy.

Taulukko 1. Sovelluksessa käytettävät IndraWorksin parametrit.

Nimitys	Tyyppi	Selite
StatusWord	Digital Input	Statusbitti
DiagMsgNumber	Digital Input	Virhetilan koodi
VelocityFbkValueOfEnc1	Analog Input	Enkoodeerin pyörimisnopeuden mitattu arvo
TorqueForceFbkValue2	Analog Input	Vääntömomentin mitattu arvo
ActVelocityValOfMotor	Analog Input	Servomoottorin pyörimisnopeuden mitattu arvo
ActivePosFbkValue	Analog Input	Paikoituksen mitattu arvo
SignalStatusWord	Digital Input	Statusbitti

ControlWord	Digital Output	Ohjausbitti
TargetPos	Analog Output	Paikkaohjeen arvo
PosVelocity	Analog Output	Pyörimisnopeuden ohjearvo
PosAcceleration	Analog Output	Kiihtyvyyden ohjearvo
PosDeceleration	Analog Output	Hidastuvuuden ohjearvo
TorqueForceCmdValuePositive2	Analog Output	Vääntömomentin ohjearvo positiiviseen suuntaan
TorqueForceCmdValueNegative2	Analog Output	Vääntömomentin ohjearvo negatiiviseen suuntaan
HydFunctionControlWord	Digital Output	Ohjausbitti
SignalControlWord	Digital Output	Ohjausbitti