

Eero Hovi

HAJAUTETTUIJEN
TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTTÖRATKAISUJEN VERTAILU JA
TESTAUS

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
2020

Hovi, Eero
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2020
Sivumäärä: 49
Liitteitä: 0

Asiasanat: hajautetut järjestelmät, kuljetinjärjestelmät, käyttöönotto, taajuusmuuttajat

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää teknisten ominaisuuksien vertailun ja käytännön testauksen kautta moottoriin integroitu taajuusmuuttaja, joka soveltuisi vaihtoehtoksi yrityksessä jo käytössä olleelle laitteelle. Tutkimus aloitettiin määrittelemällä siihen mukaan otettavat laitevalmistajat ja taajuusmuuttajille asetettavat vaatimukset.

Teoreettisessa osuudessa käsiteltiin asetettujen vaatimusten merkityksiä ja selvitettiin laitekohtaiset tekniset ominaisuudet. Lisäksi toteutettiin laitteiden välinen vertailu, jonka pohjalta valittiin käytännön testaukseen mukaan otettavat laitteet.

Työn empiirisessä osiossa testaukseen valituille laitteille toteutettiin käyttöönottotestaus, jossa laitteet saatettiin toimintakuntoon. Testausvaiheessa kiinnitettiin huomiota käyttöönoton sujuvuuteen, saatavilla olleeseen tukimateriaaliin ja asetettujen vaatimusten toteutumiseen sekä haluttujen ominaisuuksien toimivuuteen.

Käyttöönottotestauksen aikana tehtyjen havaintojen myötä voitiin todeta siihen mukaan päässeiden laitteiden täyttäneen niille asetetut vaatimukset.

COMPARISON AND TESTING OF DISTRIBUTED FREQUENCY CHANGE SOLUTIONS

Hovi, Eero

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Automation and electric engineering

May 2020

Number of pages: 49

Appendices: 0

Keywords: commissioning, conveyor systems, distributed systems, frequency converter

The purpose of this thesis was through technical feature comparison and commissioning testing to discover a motor integrated frequency converter that would work as an option for a device that the company has been using for now. Research was began by defining the requirements for the frequency inverters and choosing which manufacturers were included.

The theoretical part of the thesis covered researching the significance of the demanded requirements and the technical features of each device. Comparison between included devices was also carried out in this section as it worked as a base when devices were selected for hands-on testing.

In the empirical part, the commissioning testing was carried out. Selected devices were brought to operational state and during this the fluency of commissioning, availability of manufacturers support material, functionality of the desired features and meeting the preset requirements were observed.

Observations made led to a conclusion that devices selected for testing phase fulfilled all the necessary requirements.

SISÄLLYS

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 7 |
| 2 | TAAJUUSMUUTTAJA JA KULJETINKÄYTTÖ SEKÄ VAATIMUSTEN MÄÄRITTELY | 9 |
| 2.1 | Taajuusmuuttaja..... | 9 |
| 2.2 | Hajautetut ja keskitetyt järjestelmät..... | 10 |
| 2.3 | Mukaan otettavat taajuusmuuttajat ja niille asettavien vaatimusten määrittely | 11 |
| 3 | VERTAILTAVAT OMINAISUUDET..... | 13 |
| 3.1 | Ethernet/IP, Profinet ja Ethercat –yhteys kenttäväylänä..... | 13 |
| 3.2 | Digitaaliset ja analogiset tulot ja lähdöt..... | 14 |
| 3.3 | Taajuusmuuttajien turvaominaisuudet | 15 |
| 3.4 | Liikkeen ohjaus ja itsenäinen paikoittaminen..... | 15 |
| 3.5 | Sähkönsyöttö ja virrankulutus..... | 18 |
| 3.6 | Mekaaninen yhteensopivuus kuljettimien ja ympäristön kanssa..... | 18 |
| 3.7 | Käyttöönotto, konfigurointi ja diagnostiikka..... | 20 |
| 3.8 | Suojaus ja käyttöympäristö | 20 |
| 3.9 | Sertifikaatit ja hyväksynät..... | 20 |
| 4 | TAAJUUSMUUTTAJAKOHTAISET OMINAISUUDET..... | 22 |
| 4.1 | SEW Movimot | 22 |
| 4.2 | Lenze Motec 8400..... | 23 |
| 4.3 | Nordac SK180E ja SK200E..... | 25 |
| 4.4 | Siemens Sinamics G110M..... | 28 |
| 4.5 | Allen-Bradley Armorstart 294 | 29 |
| 5 | VERTAILUN TULOKSET JA TESTILAITTEIDEN VALINTA..... | 31 |
| 6 | TESTILAITTEIDEN KÄYTTÖÖNOTTO..... | 34 |
| 6.1 | Nordac SK180E:n käyttöönotto | 36 |
| 6.2 | Lenze Motec 8400:n käyttöönotto | 39 |
| 7 | JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA | 45 |
| 8 | LOPPUSANAT | 47 |
| | LÄHTEET..... | 48 |

SYMBOLI JA LYHENNELUETTELO

A – Ampeeri

AI – Analoginen tulo

Allen-Bradley – Sähkölaitevalmistaja

AO – Analoginen lähtö

Armorstart – Allen-Bradleyn valmistama taajuusmuuttaja

AS-I – Actuator sensor interface, automaatiojärjestelmien verkkoprotokolla, alemman tason kenttäväylä esimerkiksi sensoreita varten

CE –merkintä – Vakuutus siitä, että laite täyttää sille asetetut direktiivit, ei ole takuu laadusta.

CIP – Common industrial protocol, teollinen tiedonsiirtoprotokolla teollisia automaatiosovelluksia varten.

DI – Digitaalinen tulo

DO – Digitaalinen lähtö

GSDML file – Tiedosto joka sisältää sekä yleiset että laitekohtaiset määritelmät sen kommunikaatio ja verkkoasetuksia varten

Hybridikaapeli – kaapeli, jota voidaan käyttää useampaan asiaan samanaikaisesti. Voidaan syöttää esimerkiksi kahta eri jännitettä

IoT – Internet of Things, asioiden internet.

IPxx – Tiiviiden määritys luokitus

kW – Kilowatti

Lenze – Sähkölaitevalmistaja

Motec 8400 – Lenzen valmistama vaihdemoottorin ja taajuusmuuttajan yhdistelmä

MOVIMOT – SEW:n valmistama vaihdemoottorin ja taajuusmuuttajan yhdistelmä

Nord – Sähkölaitevalmistaja

Nordac SK180E – Nord:n valmistama vaihdemoottorin ja taajuusmuuttajan yhdistelmä

PLC – Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikka

SEW – Sähkölaitevalmistaja

Siemens – Sähkölaitevalmistaja

Sinamics G110M – Siemensin valmistama vaihdemoottorin ja taajuusmuuttajan yhdistelmä

STO – Safe torque off, estää vääntömomenttia tuottavan energian vaikutuksen moottoriin

TCP/IP – tietoliikenne protokolla, IP vastaa osoitteistamisesta ja reitittämisestä ja TCP tiedonsiirtoyhteydestä, pakettien järjestämisestä ja uudelleenlähettämisestä

UL –sertifikaatti – Vastaa Pohjois-Amerikassa CE –merkintää

V – Voltti

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty sisälogistiikan automatisointiin keskittyneelle, Ulvilalaiselle automaatioyritykselle, Cimcorp Oy:lle. Työn tavoitteena on löytää markkinoilta yritykselle uusi, heidän tarpeidensa ja vaatimustensa mukainen, hajautetun kuljetinkäytön ohjaukseen soveltuva, taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttaja tulee pystyä integroimaan moottoriin ja olisi hyödyllistä, jos se olisi myös mahdollista asentaa irralleen moottorin lähettyville, eli siitä olisi saatavissa myös niin sanottu seinäasennettava -malli. Opinnäytetyössä etsitään ratkaisua ensisijaisesti melko tavallisille, suorille kuljettimille. Niiden lisäksi vastaavia ratkaisuja käytetään myös esimerkiksi kääntöpöytien ja hissien kanssa, jolloin taajuusmuuttaja – moottori –yhdistelmään kohdistuu hieman erilaiset vaatimukset. Erityisesti kääntöpöytäkäytön vaatimusten täyttymistä seurataan opinnäytetyössä, mutta suorille kuljettimille soveltuva ratkaisu on etusijalla.

Löydetyn ratkaisun on tarkoitus toimia vaihtoehtona nykyisin käytössä olevalle SEW-Movimot -taajuusmuuttaja – moottori yhdistelmälle. Yhtenä suurimmista lähtökohdista uuden ratkaisun löytämiseen on parempi kustannustehokkuus. SEW Movimot on monipuolinen ratkaisu hyvin tunnetulta valmistajalta, mutta markkinoilta löytyy monia muitakin ehdokkaita, joilla on tarjolla omanlaisensa ratkaisut. Valmistajakohtaisia eroja on esimerkiksi laitteiden lisäominaisuuksissa ja taajuusmuuttajien konfiguroimiseen tarkoitetuissa ohjelmistoissa ja vaihtoehtoja on muutoinkin hyvä tarkastella aikajoin ominaisuuksien ja laitteistojen kehittyessä jatkuvasti. Opinnäytetyössä tutustutaan näihin vaihtoehtoihin ratkaisuihin selvittämällä ja vertailemalla niiden ominaisuuksia ja teknisiä toteutuksia, ja toteuttamalla laitetestaus vähintään yhdellä sopivaksi ratkaisuksi osoittautuneella vaihtoehdolla.

Cimcorp Oy on valinnut vertailtavat valmistajat jo ennakkoon. Näistä valmistajista osa tarjoaa perusvaihtoehtoja kattavilla lisäominaisuuksilla ja osalla jo perusmallitkin ovat lähes kaiken kattavia. Läheskään kaikessa käytössä ei ole tarvetta esimerkiksi paikannukselle tai liiallisille tuloille ja lähdöille, tällöin on mahdollista, että valitsemalla vain tarvittavat lisäoptiot mukaan, saavutetaan huomattavia säästöjä suurilla hankintamäärillä. On kuitenkin tärkeää, että samanlainen laite voidaan valita suurimpaan osaan kuljetinkäyttöjä, eikä esimerkiksi kuljettimen pituuden muuttuessa ole tarpeellista

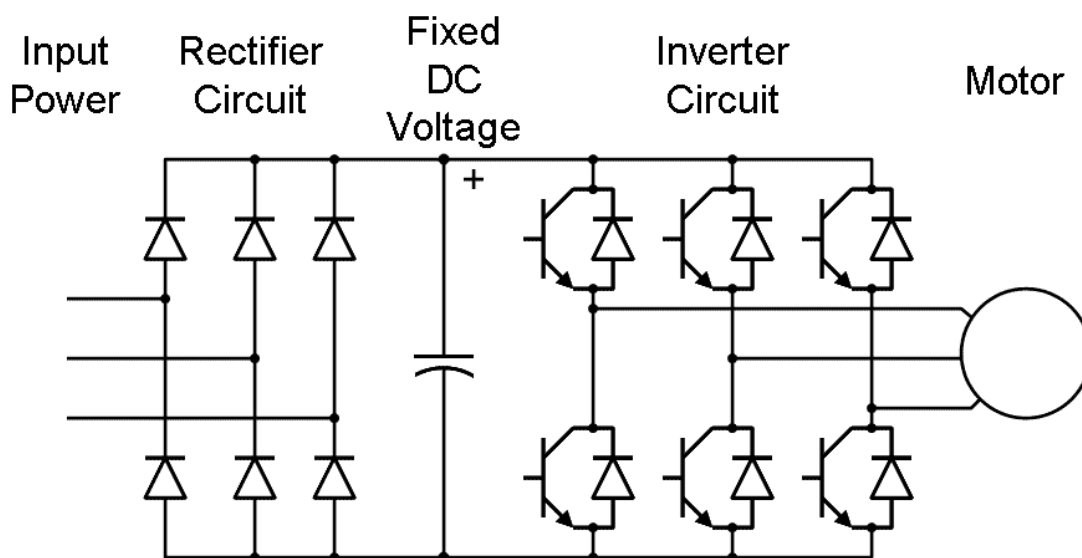
tehdä muutoksia itse taajuusmuuttajan kokoonpanoon. Tällä tavalla vältetään ylimääräiseltä työltä hankintavaiheessa; useamman laitekokoonpanon spesifioimisen sijaan, voidaan aina tukeutua samanlaisiin, ennalta määriteltyihin versioihin.

2 TAAJUUSMUUTTAJA JA KULJETINKÄYTTÖ SEKÄ VAATIMUSTEN MÄÄRITTELY

2.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on laite, jolla voidaan säätää sähkömoottorin nopeutta portaattomasti. Tämä tapahtuu muuttamalla sähkömoottorin tehonsyötön taajuutta ja jännitettä. Mahdollisuus nopeuden säätöön tuo mukanaan säästöjä energiankulutuksessa, auttaa nopeuden sopivaksi sovittamisessa muuttuvissa olosuhteissa ja vähentää koneiden mekaanista rasitusta ja pidentää niiden käyttöikää. Samalla taajuusmuuttaja parantaa jopa työympäristöä, koska sen ansiosta esimerkiksi puhaltimien melutaso saattaa pudota. Erityisesti energiankulutuksen pienentyminen tuo huomattavia säästöjä, virrankulutus voi olla jopa 40 % pienempi suoraan käyttöön verrattuna. (Danfoss 2019.)

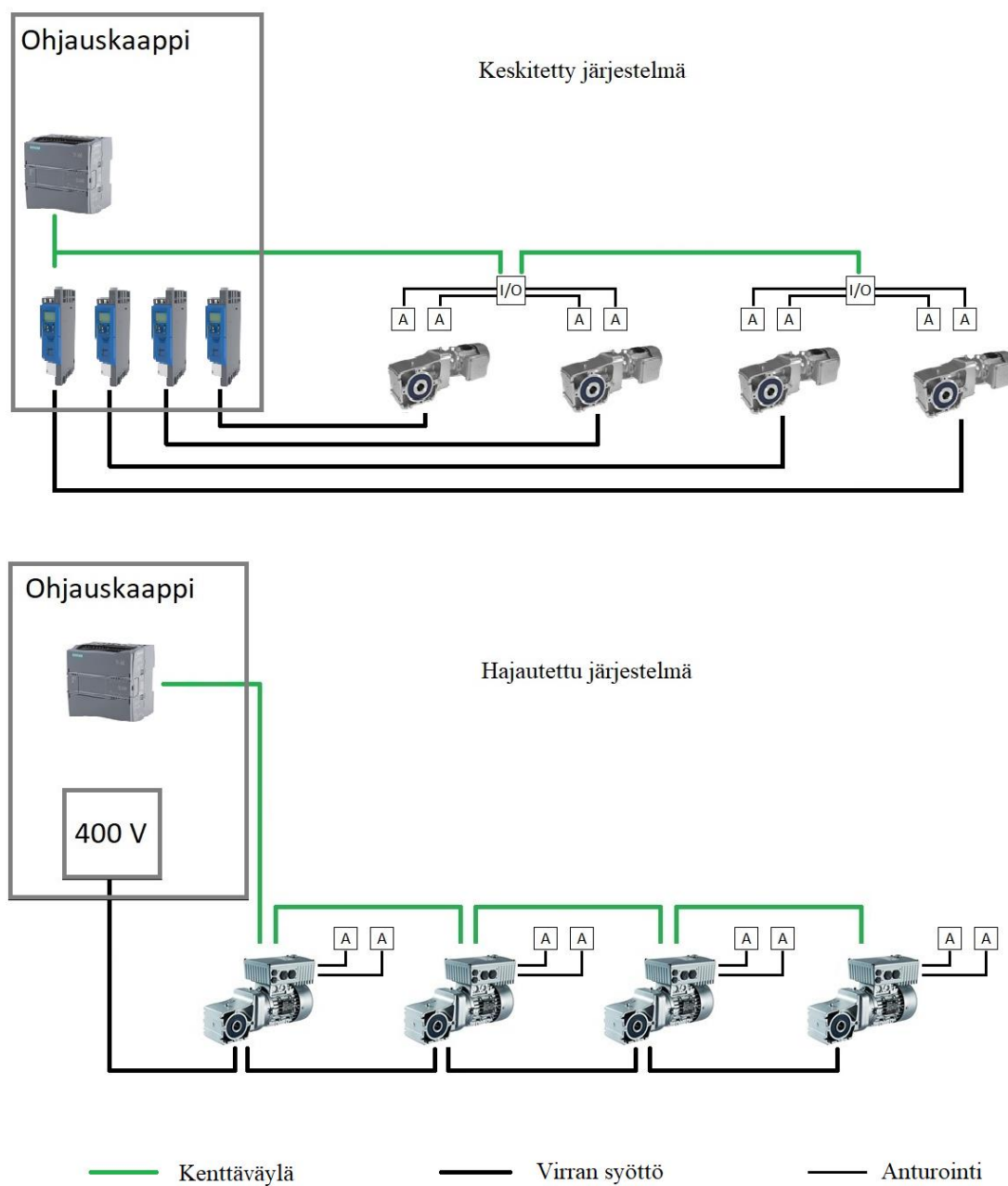
Oikosulkumoottoreiden ohjaamiseen tarkoitetuissa, jännitevälipiirillisissä taajuusmuuttajissa on kolme pääosaa: tasasuuntaaja, jännitevälipiiri ja vaihtosuuntaaja (Kuva 1). Tasasuuntaaja muuttaa siihen syötettävää tavallista 50 Hz:n kolmivaiheista virtaa tasavirraksi. Jännitevälipiiri taas suodattaa syntyneestä tasajännitteestä epäpuhtaudet pois ja toimii samalla energiavarastona, josta voidaan myös ottaa taajuusmuuttajan ohjausjännite. Lopuksi vaihtosuuntaaja kytkee vaihejännitelähdöt suurella kytkentätaajuudella vuorotellen negatiiviseen ja positiiviseen tasajännitevälipiiriin. (Kauppila, Tiainen & Ylinen 2010, 35-36.)



Kuva 1. Taajuusmuuttajan rakenne (VFDs 2019)

2.2 Hajautetut ja keskitetyt järjestelmät

Keskitetyllä järjestelmällä tarkoitetaan lyhyesti järjestelmää, jossa ohjauslaitteet sijaitsevat koottuna ohjauskaapissa. Nämä laitteet ovat tällöin hyvin suojattuna ympäristötekijöitä vastaan, mutta toimilaitteiden virta- ja ohjauskaapelit pitää johdottaa jokaiselta erikseen ohjattavalta laitteelta ohjauskaappiin asti (Kuva 2). Hajautetussa järjestelmässä ohjaus- ja muut laitteet taas tuodaan toimilaitteiden läheisyyteen ja ne yhdistetään toisiinsa ja ylätasojärjestelmään kenttäväylällä. (Linder, A. 2014.)



Kuva 2. Keskitetty ja hajautettu järjestelmä

Hajautetun järjestelmän käyttö kuljetinjärjestelmässä tarkoittaa kuljetinmoottoreita ohjaavien taajuusmuuttajien tai moottorikäynnistimien viemistä ohjauskaapista kuljettimien välittömään läheisyyteen. Samoin prosessiin liittyvät anturisignaalit johdetaan joko taajuusmuuttajien tai samaan väylään kytkettyjen kenttä-I/O -laitteiden kautta.

Hajautetussa järjestelmässä ohjauslaitteilta vaaditaan usein kestävämpää rakennetta ja parempaa suojausta, koska ne eivät enää sijaitse ohjauskaapin suojassa. Toisaalta tällöin laitteiden tuottama lämpö jakaantuu paremmin, eikä ohjauskaapin ilmanvaihtoon ja jäähdytykseen tarvitse panostaa yhtä paljoa kuin keskitetyssä järjestelmässä. Lisäksi, kuten kuvasta 2 voidaan havaita, kaapelointi kustannukset vähenevät huomattavasti, sillä samalla kaapelilla voidaan syöttää virtaa useampaan ohjauslaitteeseen ja ohjauslaitteen ja toimilaitteen välinen kaapelointi jää joko hyvin vähäiseksi tai kuten integroitujen ohjauslaitteiden tapauksessa, se poistuu kokonaan. Kaapelointikustannusten vähentymistä voidaankin pitää hajautetun järjestelmän suurimpana etuna. (Linder, A. 2014.)

2.3 Mukaan otettavat taajuusmuuttajat ja niille asetettavien vaatimusten määrittely

Taajuusmuuttajan vaatimukset selvitettiin opinnäytetyön määrittelyvaiheessa yhteistyössä yrityksen edustajien kanssa. Vaihtoehtoista taajuusmuuttajaa on yrityksessä pohdittu ennenkin ja sille asetettavat vaatimukset olivat suurimmaksi osaksi tiedossa edellisten kuljetinkäyttöjen toteutuksista.

Ehdottomiksi vaatimuksiksi taajuusmuuttajalle asetettiin Profinet ja Ethernet/IP yhteys kenttäväyläliityntää varten, mekaaninen yhteensopivuus, riittävät digitaaliset tulot ja lähdöt, tarpeeksi alhainen virrankulutus, riittävä IP-luokitus ja CE -merkintä sekä UL -sertifikaatti. Muita huomioonotettavia asioita olivat turvaominaisuudet kuten STO ja mahdollinen integroitu virransyötön erotuskytkin, joka poistaa erillisen turvakytkimen tarpeen, itsenäinen paikoittaminen ja käyttöönoton ja diagnostiikan helppous. Ethercat -väylän käyttöä tulevaisuudessa pidettiin hyvinkin mahdollisena, joten vaikka tällä hetkellä kenttäväylänä on lähes poikkeuksetta Profinet, Ethercat yhteensopivuus olisi erittäin suotavaa.

Yrityksen tuotekehitysosastolla oltiin jo etukäteen pohdittu asiaa alustavasti ja oltiin valikoitu muutamia eri merkkejä mukaan vertailuun. Osasta oltiin tehty myös tarjouspyyntöjä jo aikaisemmin ja todettu niiden olevan sopivassa hintahaarukassa. Tehtäväksi jäi selvittää mukaan valittujen taajuusmuuttajien ominaisuudet, käyttöönotto ja yleinen sopivuus kuljetinkäyttöihin. Vertailtaviksi malleiksi otettiin tässä vaiheessa SEW Movimotin lisäksi Lenze Motec 8400, Nordac SK180E ja Siemens Sinamics G110M.

3 VERTAILTAVAT OMINAISUUDET

3.1 Ethernet/IP, Profinet ja Ethercat –yhteys kenttäväylänä

Ethernet/IP ja Profinet ovat molemmat Ethernet –pohjaisia kaupallisia kenttäväyläteknologioita. Ethernet/IP on teollisuus-Ethernet, joka yhdistää Common industrial protocol:n (CIP) tavalliseen Ethernetiin ja on tarkoitettu automaatiojärjestelmien käyttöön. CIP sisältää huomattavan määrän ohjaukseen, turvallisuuteen, energiaan ja liikkeeseen liittyviä viestejä ja palveluita ja se mahdollistaakin automaatio-sovellusten kommunikoinnin ja niiden tiedonsiirron samanaikaisen yhdistämisen internettiin ja yrityksen muuhun verkkoon. Internet tiedonsiirtoprotokollan tuki kenttäväylässä on erityisen tärkeä IoT:n takia. (ODVA 2019.)

Profinet -väylä on Siemensin kehittämä teollisuus-Ethernet –standardi. Profinet erottuu Ethernet/IP:stä sillä, että aikakriittiset toiminnot ovat mahdollisia reaaliaikaisten protokollalisäysten ansiosta. TCP/IP –tiedon lisäksi Profinet mahdollistaa sekä reaaliaikaisen että syklisen tiedonsiirron yhtäaikaaisesti, ilman reaaliaikaisen tiedonsiirron häiriintymistä. Tietoa voidaan siirtää myös tahdistetusti reaaliaikaisena, jolloin päästään erittäin alhaisiin, jopa alle millisekunnin vasteaikoihin. Myös langaton tiedonsiirto on mahdollista. Profinet -väylään voidaan liittää myös muita kenttäväyläjärjestelmiä, kuten AS-I ja Profibus ilman, että laitteisiin pitää tehdä muutoksia. (Siemens AG 2019a.)

Ethercat on alun perin Beckhoffin kehittämä avoin reaaliaikainen Ethernet –verkko. Ethercatin kehityksessä keskityttiin erityisesti lyhyisiin kiertoaikoihin, vähäiseen jitteriin, eli poikkeamaan jaksollisesta signaalista, ja alhaisiin laitekustannuksiin. Ethercat –väylässä vain isäntänä eli masterina toimivalla laitteella on oikeus aktiivisesti lähettää Ethercat –kehys. Muut laitteet eli slavat vain välittävät näitä kehyksiä eteenpäin. Master siis lähettää sanoman, joka kulkee jokaisen väylässä olevan laitteen kautta ja jokainen laite sekä lukee että kirjoittaa sanomaan vauhdissa. Ainoastaan laitteiston levittyneisyys ja siitä johtuva väylän pituuden kasvu siis viivästyttää kehyksen kulkua. Osion viimeinen laite lähettää viestin takaisin masterille hyödyntäen väylän täyttä kaksisuuntaisuutta eli full duplexisuutta. (Ethercat Technology Group 2019.)

3.2 Digitaaliset ja analogiset tulot ja lähdöt

Digitaalisilla signaaleilla on kaksi tilaa; 0 ja 1. Tulo tarkoittaa laitteeseen tulevaa, sen käsiteltäväksi tarkoitettua signaalia ja lähtö taas siitä lähtevää eli laitteen lähettämää signaalia. Tulosignaali siis edustaa jotakin asiaa, jolla on tasan kaksi eri tilaa, kuten vaikkapa päällä ja pois. Lähtösignaalia taas käytetään hallitsemaan asioita, joilla on vain kaksi tilaa, tällainen hallinta voisi olla esimerkiksi laitteen käynnistys ja pysäytys. Analogiset signaalit taas ovat muuttujia, eli niillä on useita eri tiloja. Analoginen tulo voi kertoa ohjauslaitteelle esimerkiksi kahden asian etäisyyden toisistaan tai moottorin lämpötilan. Analogisella signaalilla voidaan myös välittää nopeusohje taajuusmuuttajalle, mikäli sitä ohjattaisiin ohjauspaneelin potentiometrillä.

Kuljetinkäytössä tulojen ja lähtöjen tarve on varsin vähäinen. SEW Movimotissa on neljä digitaalista tuloa ja kaksi lähtöä, joista normaalisti on käytössä neljä tuloa, jotka välittävät tietoa kuljettimen antureista logiikalle (Kuva 3). Analogisille antureille ei normaalissa kuljetinkäytössä ole tarvetta. Tulosignaalit viestivät useimmiten kuljettimien päädyissä olevien valokennojen tilasta, näillä valokennoilla tunnistetaan, onko kuljettimella tuotteita. (Bernier 2016.)



Kuva 3. Tulot ja lähdöt kulkevat SEW Movimotissa teknologiayksikön kautta

Digitaalisia tuloja kuitenkin tarvitaan ja jotta ne olisivat helposti kytkettävissä ja irrotettavissa, olisi tarpeenmukaista, että niiden liitäntämuotona olisi M12 –kanta, sillä

tämä helpottaa asennus- ja huoltotöitä verrattuna kiinteisiin johdotuksiin. M12 -kannallista liittintä käytetään myös kenttäväyläliitännässä. (Kuva 4).



Kuva 4. M12 liittiminen anturikaapeli (Phoenix Contact 2019)

3.3 Taajuusmuuttajien turvaominaisuudet

Turvaominaisuuksista vertailuun otettiin STO eli safe torque off, joka takaa, että vääntömomenttia tuottava energia ei vaikuta moottoriin. Toisin sanoen STO-toiminto katkaisee virransyötön taajuusmuuttajasta moottoriin välittömästi ja moottori pysähtyy vapaasti tämän jälkeen. Tämä estää odottamattoman käynnistymisen ja mahdollistaa turvallisen menemisen laitteen toiminta-alueelle esimerkiksi prosessiin liittyvien toimenpiteiden takia ja mahdollistaa STO-toiminnon käyttämisen myös hätäpysäytykseen. STO poistaa erillisten elektromekaanisten komponenttien tarpeen ja tällöin tuo taloudellista säästöä myös asennus ja johdotuskuluissa. (Siemens AG 2019b.) Tämän opinnäytetyön tapauksessa STO –toiminto ei ole elintärkeä suurimmassa osassa kuljetinkäyttöjä.

3.4 Liikkeen ohjaus ja itsenäinen paikoittaminen

Liikkeenohjauksen järjestelmät ovat tyypillisesti servo-ohjattuja järjestelmiä, jotka kykenevät erittäin tarkkaan nopeuden, paikan ja momentin hallintaan. Liikkeenohjauksessa on tyypillisesti kolme peruskomponenttia: liikkeenohjain, servovahvistin ja moottori. Liikkeenohjain hoitaa liikkeen kulkureitin suunnittelun ja sen vaatimat laskutoimitukset. Näiden perusteella servovahvistimelle lähetetään nopeusohje ja muita

ohjaussignaaleja, jotka servovahvistin tulkitsee ja syöttää niiden perusteella oikean taajuista ja vahvuista jännitettä moottorille. Tämä johtaa haluttuun liikkeeseen. Mahdollinen takaisinkytkentä moottorilta välittää ohjaimelle tietoa moottorin todellisesta liikkeestä ja tätä takaisinkytkentätietoa käytetään mukana laskennassa tarkentamaan liiketarkkuutta. Tällöin ohjain siis tietää jatkuvasti missä vaikkapa anturilta lähtenyt paketti kulkee kuljettimella ja kykenee ottamaan huomioon esimerkiksi massan tai kitkan muutoksen aiheuttamat vaikutukset. (AutomationDirect 2019.)

Itsenäisellä paikoittamisella tarkoitetaan tässä tapauksessa laitteen kykyä valvoa jatkuvasti sitä, missä asennossa kääntöpöytä (Kuva 5) kulloinkin on. Tämä on toteutettavissa esimerkiksi absoluutti- tai inkrementtianturilla toteutetulla takaisinkytkennällä, jolloin taajuusmuuttajan logiikka on tietoinen moottorin liikkumisesta. Tällöin kuljetinta voidaan liikuttaa juuri sen verran kuin halutaan missä tilanteessa vain. Toisin sanoen paikoittaminen ei ole kiinni ulkoisista antureista, joita yleensä sijoitetaan kuljettimien päätyyn valvomaan tuotteen tulemista ja lähtemistä kuljettimelta tai antureilla, jotka ilmaisevat, kun kääntöpöytä on oikeassa asennossa. Paikoittamista varten taajuusmuuttajalle tulee antaa tiettyjä tietoja parametreina, joiden avulla moottorin pyörimisnopeus suhteutetaan laitteessa tapahtuvaan liikkeeseen. Näitä tietoja ovat mekaniikkaan liittyvät asiat kuten vaihteen välityssuhde ja enkooderin resoluutio. Kääntöpöytää ajetaan usein samana pysyviin paikkoihin, jolloin paikat voidaan opettaa taajuusmuuttajalle ja tällöin erillisen paikkatiedon sijaan, PLC voi käskyttää pöytää ajamaan näihin ennalta tallennettuihin paikkoihin.



Kuva 5. Kääntöpöydällä tarkoitetaan tässä työssä kuljetinta, jota voidaan tilanteen mukaan ohjata kääntymään eri asentoihin tavaran vastaanottoa ja lähettämistä varten (SICK).

Suorilla kuljettimilla paikoittamisen tarvetta ei ole, kääntöpöytien tapauksessa ne ovat kuitenkin hyödyllisiä. Takaisinkytkennällä päästään nopeampiin suoritusnopeuksiin ja parempaan paikoitustarkkuuteen, sillä paikoittamista varten ei ole tarvetta esimerkiksi ajaa normaalisti ensimmäiseen anturiin ja tämän jälkeen alennetulla nopeudella loppumatkaa seuraavaan anturiin, vaan koko kääntö voidaan toteuttaa sujuvasti. Taajuusmuuttaja tietää todellisen paikan jatkuvasti ja huolehtii nopeuden alentamisesta ja pysäyttämistä jouhevasti. Mikäli antureiden kanssa tapahtuvia ali- tai yliajoja tapahtuu, osaa tällaisella paikoituksella varustettu taajuusmuuttaja korjata paikan automaattisesti juuri halutuksi. Itsenäisen paikoittamisen mahdollistavat ominaisuudet kuitenkin saattavat nostaa hintaa ja tällöin olisi järkevää, jos itsenäisen paikoittamisen mahdollisuus olisi tarjolla lisäoptiona vakiovarustelun sijaan.

Paikoittaminen on periaatteessa mahdollista toteuttaa myös esimerkiksi kuljettimeen kytketyn absoluuttianturin avulla, mikäli moottorista ei ole mahdollista saada takaisinkytkentää taajuusmuuttajaan. Säätosilmukka voisi tällaisessa tapauksessa sulkeutua ohjelmoitavaan logiikkaan, eli paikoittaminen hoidettaisiin ohjauskaapissa olevan PLC:n ei taajuusmuuttajan toimesta. Ohjelman kiertoaika ja väylän tuomat viiveet

huomioiden, tämä luultavasti aiheuttaisi pientä epätarkkuutta paikoittamiseen. Liiallisesta epätarkkuudesta voidaan tämän kaltaisessa sovelluksessa päästä tarvittaessa eroon käskemällä laitetta korjaamaan asentoon ensimmäisen paikoituksen päätyttyä: mikäli paikoitus on ajanut tiettyjen, ennalta-asetettujen rajojen ulkopuolelle, tulee paikkaa korjata hieman. Taajuusmuuttajassa tapahtuva paikoitus olisi kuitenkin parempi ratkaisu.

3.5 Sähkönsyöttö ja virrankulutus

Taajuusmuuttajaa tullaan syöttämään kolmivaihevirralla, joten sen tulee olla tarkoitettu käytettäväksi tällaisessa järjestelmässä 400 – 480 voltin jännitteellä. Taajuusmuuttajan ohjausjännite taas on 24 voltia. Pääjännite tulisi olla erotettavissa ilman, että ohjausjännite katkeaa. Tämä toteutetaan useimmiten kahdella erillisellä jännitteen syötöllä ja vaatii joko hybridikaapelin tai kaksi erillistä syöttökaapelia. Ohjausjännitteen päällä pysyminen voiman siirron ollessa erotettuna, esimerkiksi tuotantoon liittyvää toiminta-alueelle menoa varten, on tärkeää, jotta taajuusmuuttajan sisäinen logiikka ja ohjaus ovat toiminnassa tänäkin aikana. Jännitteensyötön kytkeminen olisi suotavaa toteuttaa liittimillä, jolloin laitteen korvaaminen uudella helpottuu.

Virrankulutuksella on merkitystä siihen, montako laitetta voidaan kytkeä yhden sulakkeen taakse: ”Rinnankytkennän kokonaisvirta on laitevirtojen summa” (Ahoranta 2017). Näin ollen voidaan karkeasti arvioida, että jos laitteen virrankulutus on esimerkiksi 2 A, voidaan 16 A sulakkeeseen kytkeä kahdeksan laitetta, jos virrankulutus taas olisi 4 A voitaisiin laitteita kytkeä vain neljä kappaletta samaan ketjuun. Mitä useampi ryhmä laitteista pitää luoda, virransyötöllisesti katsoen, sitä enemmän asennus- ja materiaalikustannuksia siitä syntyy.

3.6 Mekaaninen yhteensopivuus kuljettimien ja ympäristön kanssa

Mekaanisella yhteensopivuudella tarkoitetaan laitteen soveltuvuutta käyttöympäristöön. Tärkeimpänä näistä ovat myöhemmin käsiteltävä IP-luokitus, käyttöympäristön lämpötila ja fyysinen yhteensopivuus Cimcorpin käyttämien kuljettimien ja niiden sijoitusten kanssa.

Käyttöympäristö, johon kuljetinkäytöt tulevat, ei yleisesti ole erityisen kuuma. Riittää kun laite on soveltuva käytettäväksi ympäristössä, jossa lämpötilat nousevat korkeimmillaan 40:een celsiusasteeseen.

Koska taajuusmuuttajat on tarkoitus integroida moottoriin, fyysistä yhteensopivuutta rajoittavat kuljettimen mitat ja asennuspaikka. Tarkasteltaessa laitteen mittoja tulee siis ottaa huomioon myös moottorin koko ja tarkastella kokonaisuutta, jossa taajuusmuuttaja on asennettuna oikeassa asennossa moottoriin. Suurin osa käytöistä sijoitetaan kuljettimen alle (Kuva 6) ja rajoittavina tekijöinä ovat jalkojen välisen tilan pituus ja kuljettimen korkeus. Koska taajuusmuuttaja tullaan todennäköisimmin asentamaan moottorin sivulle ja näin ollen poispäin kuljettimesta, ei se myöskään saisi olla liian korkea eikä tulla liikaa ulos kuljettimen sivusta.



Kuva 6. Taajuusmuuttaja ja moottori kuljettimessa

Huomioon tulee ottaa myös liitännöiden suunnat ja niiden vaatima tilantarve, sillä M12- ja virtaliittimet vievät jonkin verran tilaa ja ulkoiset teknologiayksiköt mahdollisia laajennuksia, kuten Profinetiä tai lisää I/O –paikkoja, varten kasvattavat yhdistelmän kokoa entisestään. Paras mahdollinen suunta liitännöiden lähdöille olisi ylöspäin tai alaspäin; poikittain kuljettimen alapuolelle tulevat liitännät vaikeuttavat kytkemistä ja kuljettimesta ulospäin tulevat taas ovat herkkiä fyysisille vaurioille esimerkiksi huolto- ja siivoustöitä tehtäessä ja kasvattavat muutoinkin taajuusmuuttajan tilan tarvetta sivuttaissuunnassa.

3.7 Käyttöönotto, konfigurointi ja diagnostiikka

Käyttöönotto ja konfigurointi ovat osa-alueita, jotka luovat kustannuksia niihin kulu-
van työajan kautta. Olisi siis järkevää valita laite, jonka käyttöönotto ja konfigurointi
olisi mahdollisimman nopeaa ja helppoa, mutta jossa parametroidin mahdollisuudet
olisivat tarpeeksi laajat monipuolista käyttöä varten. Tapauksissa, joissa taajuusmuut-
taja tulee integroituna moottoriin, ovat taajuusmuuttajat usein valmiiksi parametroitu
niihin liitettyä moottoria varten ja joidenkin valmistajien tapauksessa myös esimer-
kiksi dip-kytkimet voidaan asettaa haluttuun asentoon jo tehtaalla.

Taajuusmuuttajia tulee pystyä konfiguroimaan, parametroimaan ja diagnosoimaan
suoraan kenttäväylän kautta. Näin ei olisi tarvetta mennä fyysisesti laitteen luokse, kun
sen asetuksiin pitää tehdä muutoksia tai selvittää laitteessa ilmaantuneita virheitä. Täl-
löin vianselvitys myös etänä mahdollistuu.

3.8 Suojaus ja käyttöympäristö

Suojauksella tarkoitetaan tässä tapauksessa kansainvälistä IP-luokitusta. IP-
luokituksella tarkoitetaan laitteiden vedenkestoisuutta ja suojausta vieraiden esineiden
ja pölyn sisäänpääsyä vastaan. Mitä vaativammat olosuhteet ovat, sen korkeamman
luokituksen laitteita tarvitaan. Korkeampi IP-luokitus tarkoittaa yleensä myös korke-
ampia kustannuksia. On siis tärkeää, että IP-luokitus mitoitetaan oikein sekä käytettä-
vyyden, turvallisuuden ja kustannustehokkuuden näkökulmasta. Luokitus ilmaistaan
kahdella numerolla merkillä esim. IP55. Koodin ensimmäinen numero kertoo suojauk-
sesta vieraita esineitä ja pölyä vastaan, jälkimmäinen numero taas ilmaisee suojauksen
vettä vastaan. Yrityksen tarkoituksissa luokituksiksi riittää normaalisti IP54 eli laite
on pölysuojattu ja suojattu roiskevedeltä. (STEK 2019.)

3.9 Sertifikaatit ja hyväksynät

CE-merkinnällä valmistaja vakuuttaa, että laite täyttää sitä koskevat direktiivien vaa-
timukset. Vain hyväksyttävät tuotteet saa varustaa CE –merkinnällä ja se on sähkölait-
teissa pakollinen. (SFS 2019.)

UL on kansainvälinen turvallisuussertifiointiyritys, jonka tarkoituksena on edistää turvallisuutta, turvallisuuden tunnetta ja kestäviä elin- ja työolosuhteita. UL508 on sertifikaatti teollisuuden hallintalaitteille, jotka ovat määritetty käytettäväksi alle 1500 V jännitteellä. Sertifikaatti takaa, että laitteista on testattu mallikappaleet ja niiden on todettu täyttävän UL:n vaatimukset. UL merkintä halutaan tässä tapauksessa erityisesti Pohjois-Amerikkaan suuntautuvien projektien laitteille.

4 TAAJUUSMUUTTAJAKOHTAISET OMINAISUUDET

4.1 SEW Movimot

SEW Movimot asettaa vertailupohjan muille opinnäytetyön laitteille ja on siis mahdollista olettaa, että se täyttää kaikki toiminnalliset vaatimukset. Fyysisen yhteensopivuuden näkökulmasta taas on todennäköistä, että kuljettimet on suunniteltu Movimotin asettamat rajoitukset mielessä pitäen ja näin ollen näiden mittojen vaikutukset kuljettimien rakenteeseen vaikuttavat muiden valmistajien laitteiden kelpoisuuteen. SEW:n laitteet ovat pienempiä tai samankokoisia tämän vertailun muihin laitteisiin verrattuna, joten on erityisen tärkeää, että etenkin laitteiden korkeutta ja pituutta tarkkaillaan ennen testiin valitsemista.

Opinnäytetyöhön liittyvissä käytöissä esiintyy kolmea eri tehovaihtoehtoa SEW:ltä: 0,55 kW, 0,75 kW ja 1,1 kW. Muut valmistajat saattavat suositella käytettäväksi hie-man eri tehoisia laitteita, sillä tehoa ratkaisevampaa on tarvittava momentti. Movimotien ilmoitettu virrankulutus on vertailun alhaisin jokaisessa teholuokassa.

Ohjausjännite tuodaan taajuusmuuttajaan omalla kaapelillaan ja laite on kytketty Profinet -väylään ja myös Ethernet/IP ja Ethercat yhteydet ovat mahdollisia. Movimotin kanssa käytetään siihen suoraan kiinnitettyä ulkoista I/O -yksikköä, joka tarjoaa neljä DI ja kaksi DI/DO paikkaa. Analogisia tuloja on myös mahdollista lisätä tarvittaessa. Diagnostiikkaliitäntä on toteutettu RJ10 portilla ja sitä kautta on mahdollista suorittaa käyttöönotto-, säätö- ja huoltotoimenpiteitä. Vähäistä parametroimista vaativa käyttöönotto voidaan suorittaa DIP -kytkimillä ja laajempia toimenpiteitä vaativa käyttöönotto onnistuu SEW:n MotionStudio ohjelmalla tai DGB käsiterminaalilla.

Mekaanisella jarrulla varustettujen moottorien tapauksessa jarrukäämi toimii vastuksena ja ilman jarrua varustetuissa moottoreissa sisäinen jarruvastus kuuluu toimitukseen vakiona. Taajuusmuuttaja soveltuu sille tarkoitettuihin ympäristöihin pystyen toimimaan -20 °C ja 40 °C lämpötilojen välissä ja ollen vähimmillään IP55 luokiteltu. STO on tarjolla lisäominaisuutena, ja inkrementtianturilla toteutettu paikannus on mahdollista vaihtamalla nykyisin käytetty MF -mallinen väyläraja-pinta MQ malliseen.

4.2 Lenze Motec 8400

Lenze Motec 8400 on Lenzen valmistama hajautettuun käyttöön tarkoitettu taajuusmuuttaja, jota on saavilla 0,37 kW:sta 7,5 kW:iin. 24 V syöttö on mahdollista toteuttaa joko erillisellä kaapelilla tai hybridikaapelilla. Vaihtoehtoiset, taajuusmuuttajan sisäiset moduulit mahdollistavat Profinet, Ethernet/IP tai Ethercat –väylän hyödyntämisen. Väylämoduulit vaativat toimiakseen myös oman 24 V:n jännitteen. Pääjännitteen syöttöä varten on tavallisen kiinteän liitännän lisäksi saatavilla erilaisia liittimiä, joista varsinkin M15 –liitin on erittäin mielenkiintoinen vaihtoehto. (Lenze Drives GmbH 2019.)

Tulojen ja lähtöjen osalta Motec 8400:a on saatavilla kolmea eri versiota. Basic –mallissa on kaksi DI:tä, Standard mallissa viisi DI:tä, yksi DO ja yksi AI ja Extended –mallissa kahdeksan DI:tä, yksi DO ja kaksi AI:ta. Sisäisellä Profinet –kortilla varustettu I/O versio on Profinet enhanced, joka tarjoaa Profinet –yhteyden lisäksi viisi DI ja yksi DO paikan (Kuva 7). Motec 8400 on mahdollista varustaa myös paikallisella ON/OFF –kytkimellä ja antureilla toteutettavalla paikoituksella. (Lenze Drives GmbH 2019.)

| Mode | Features | | | Position of M12 plug | | | |
|---|----------------------|-------|---|----------------------|---------|---------|----|
| PROFINET Enhanced E84DGFCRENP | Controller enable | RFR | 1 | A1 | LED | DI3/DO1 | B4 |
| | Digital inputs | DIx | 5 | A2 | Bus | | B3 |
| | Digital outputs | DOx | 1 | A3 | Bus | | B2 |
| | Analog inputs | AU/AI | – | A4 | DI1/DI2 | | B1 |
| | Relay | NO | – | | | | |
| | STO safety function | STO | – | | | | |
| | External 24 V supply | 24E | 1 | | | | |

E84DG126j

Kuva 7. Profinet Enhanced ja esimerkki liitännöiden sijoittelusta taajuusmuuttajassa kuvattuna ylhäältä päin (Lenze Drives GmbH 2019, 162)

Motec 8400 tarjoaa lisävarusteena erilaisia turvatoimintoja, kuten STO:n, joilla voidaan kattaa vaatimukset SIL 3 ja PLe 4 –luokkiin asti. Moottorinohjaus on mahdollista toteuttaa V/f HTL –enkooderilla tai ilman, vektoriohjauksella tai anturittomalla tahdistetulla moottoriohjauksella. (Lenze Drives GmbH 2019.)

Suojauksen ja käyttöympäristön lämpötilarajojen puolesta Motec 8400 täyttää Cimcorpin vaatimukset: suojausluokka on vakiona IP54 huoltokytkimen kanssa, tai IP65

ilman huoltokytkintä ja molemmissa tapauksissa suojausluokkaa voidaan parantaa IP66:en. Normaalin käytön salliva ympäristön lämpötila-alue on Motec 8400:lla laajin kaikista tutkittavista taajuusmuuttajista: -30°C – 45°C. Laitetta voidaan käyttää myös 45°C ja 55°C välillä, mutta tällöin antovirta pienenee 2,5 % per aste. (Lenze Drives GmbH 2019.)

Lenzen kanssa käytyjen keskustelujen jälkeen, he päätyivät ehdottamaan sopivaksi ratkaisuksi MF –moottorilla varustettuja 0,55 kW:n ja 0,75 kW:n yhdistelmiä, joista 0,55 kW:n yhdistelmää olisi tarkoitus hyödyntää kahdessa eri mittaisessa kuljettimessa ja niiden erona olisi erikokoinen vaihdelaatikko. Näillä kokoonpanoilla laitteiden ulkomitat jäävät kuljettimien asettamien raja-arvojen alapuolelle, ollen fyysisiltä mitoiltaan soveltuvia yrityksen käyttöön (Taulukko 1).

Taulukko 1. Taajuusmuuttaja - moottori -yhdistelmien kokonaismittoja. *Pituudet saatu Siemensin tuotevalitsin –työkalulla, ei pyydetty ehdotuksia valmistajalta.

| Conveyors | 900 mm | 1800 mm | 2700 mm |
|-------------------------|---------------|----------------|----------------|
| MAX LENGTH | 500 mm | 580 mm | 580 mm |
| SEW W30 - 71 | 357 mm | | |
| SEW W47 - 80 | | 488 mm | |
| SEW KF39 - 80 | | | 526 mm |
| Lenze MF 063-32 0,55 kW | 455 mm | | |
| Lenze MF 063-32 0,55 kW | | 515 mm | |
| Lenze MF 063-42 0,75 kW | | | 515 mm |
| Nord 71 0,25 kW | 391 mm | | |
| Nord 80S 0,55 kW | | 503 mm | |
| Nord 80L 0,75 kW | | | 503 mm |
| Simogear 71 0,37 kW* | 500 mm | | |
| Simogear 80 0,75 kW* | | 559 mm | |
| Simogear 90 1,1 kW* | | | 587 mm |

MF –sarjan moottorit ovat 120 Hz:n ”L-Force” vaihtovirtamoottoreita, jotka on optimoitu taajuusmuuttajakäyttöön. MF –sarjan etuina verrattuna tavanomaisiin 50 ja 60 Hz:n vaihtovirtamoottoreihin ovat pienempi koko, energiatehokkuus ja nopeusasetusten laaja skaala. Moottori saattaa olla jopa kahta kokoluokkaa pienempi kuin vastaavan tehoinen IE2 tai IE3 luokiteltu tavanomainen moottori. Esimerkiksi 0,75 kW:n IE2 luokiteltu MH –moottori on Lenzellä kokoa 80, kun vastaava MF -moottori taas on

kokoa 63. Energiatehokkuudeltaan MF –moottori on verrattavissa IE2 luokan vaatimukset täyttävään moottoriin ja parhaimmillaan moottorin energiahäviöt ovat 30 % IE2 luokitettua moottoria pienempiä. Nopeusasetuksissa etua saadaan ajettaessa moottoria alhaisilla kierroksilla: MF –vaihdemoottorilla voidaan hyödyntää täyttä vääntöä ilman erillisen tuulettimen käyttöä jo huomattavasti alhaisemmilta kierroksilta kuin IE2 vaihdemoottori. (T. Holmströmin mukaan (henkilökohtainen tiedonanto 26.9.2019).)

Motec 8400 täyttää halutut vaatimukset sertifiointeihin ja hyväksyntiin liittyen ja voidaan niiden lisäksi toimittaa myös EAC (Euraasia) ja RoHS2 hyväksynnöillä (Lenze Drives GmbH 2012, 2).

Seinäkiinnitysversiot voidaan varustaa ulkoisella jarruvastuksella ja integroidut taajuusmuuttajat sisältävät sisäisen jarruvastuksen 3,0 kW:n tehoon asti. Ulkoinen jarruvastus on mahdollista saada 7,5 kW:n tehoon asti integroiduissa taajuusmuuttajissa ja ulkoinen, taajuusmuuttajasta erilleen asennettava, jarruvastus on saatavilla 0,8 kW:n tehoon asti.

4.3 Nordac SK180E ja SK200E

SK180E Nordac Base ja SK200E Nordac Flex ovat Nordin valmistamia moottoriin integroitavia taajuusmuuttajia. Molemmista malleista on saatavilla myös seinäkiinnitysversio, joka on tarkoitettu kiinnitettäväksi moottorin läheisyyteen. SK180E taajuusmuuttajia on saatavilla kahdessa eri kokoluokassa, koko 1 kattaa tehoalueen 0,25 – 1,1 kW ja koko 2 alueen 1,5 – 2,2 kW. SK200E –sarja kattaa laajemman alueen ja sitä on saatavilla neljässä eri kokoluokassa, joista koko 1 täyttää Cimcorpin tarpeet kattaen tehoalueen 0,55 – 2,2 kW.

Nordac SK180E ja SK200E soveltuvat samankaltaiseen käyttöön. SK200E –taajuusmuuttajaan on kuitenkin saatavilla enemmän ominaisuuksia ja se soveltuu käytettäväksi myös enemmän tehoa vaativissa sovelluksissa. Molemmat kuitenkin kattavat riittävästi eri vaihtoehtoja vaadittuun 1,5 kW:iin asti. SK180E on näistä malleista edul-

lisempi ja siitä puuttuvatkin STO- ja paikotus ominaisuudet. Myös 24 V ohjausjännitteen syötössä on eroa. SK180E tulee aina varustettuna sisäisellä virtalähteellä, jolloin ohjausjännite otetaan päävirrasta. Mikäli taajuusmuuttajaan lisätään sisäinen Profinet, Ethernet tai Ethercat –kortti, vaatii se ulkoisen virtalähteen. Tällöin ohjausjännitteen ottaminen sitä kautta on mahdollista, jolloin ohjausjännite säilyy, vaikka moottorin syöttö katkaistaisiin. SK200E taas tarjoaa sekä STO- että paikoitusominaisuudet ja siihen on mahdollista valita sisäinen tai ulkoinen virtalähde vakiona. Jarruvastusta on saatavana vasta koosta 2 lähtien, se ei kuitenkaan ole tarpeellinen horisontaalisessa kuljetuksessa, vaan siitä saatava hyöty tulee vastaan vasta esimerkiksi hissi- eli pystykuljettimessa.

Edellä mainittujen ominaisuuksien tarve on Cimcorpin kuljetinkäytöissä marginaalinen ja koska muutoin taajuusmuuttajat vastaavat toisiaan ominaisuuksiltaan, tarkastellaan tästä eteenpäin vain SK180E mallia. On kuitenkin hyvä tiedostaa, että tarpeen herätessä, on Nordilla tarjolla myös malli, joka soveltuu vaativampaan käyttöön. Tällöin esimerkiksi vaadittaessa paikoitusta yhdeltä kuljettimelta, ei ole tarvetta vaihtaa valmistajaa, vaan voidaan käyttää SK200E taajuusmuuttajaa. Käyttöönotto ja ohjelmointi voidaan siis edelleen suorittaa samalla käytännöllä koko linjalle ilman, että kaikki laitteet pitäisi korvata kalliimmilla malleilla.

SK180E on mahdollista liittää eri kenttäväyliin valinnaisilla adaptereilla, joita on saatavana sekä ulkoisina että sisäisinä. Cimcorpille sopiva ratkaisu on käyttää sisäistä Profinet –adapteria, joka sisältää myös kaksi digitaalista tuloa. Näiden lisäksi SK180E tarjoaa vakiona kolme DI:tä ja kaksi DO:ta sekä kaksi AI:ta, joita voidaan käyttää myös digitaalisina tuloina. Tulojen ja lähtöjen määrä on siis varsin riittävä. (Getriebebau Nord 2020a.)

Nord:n laitteissa on jonkin verran korkeampi tehollinen virrankulutus kuin SEW:n tarjoamissa malleissa (Taulukko 2). Ero ei kuitenkaan ole niin huomattava, että se aiheuttaisi ongelmia. Esimerkiksi 0,55 kW:n SEW ottaa 1,6 A ja SK180E taas 2,6 A 400V käytössä. Virtajohto on kiinteän johdotuksen lisäksi mahdollista varustaa QPD –liittimellä. (Getriebebau Nord 2020a.)

Taulukko 2. Taajuusmuuttajien tehokohtainen virrankulutus

| Virrankulutus | 0,37 kW | 0,55 kW | 0,75 kW | 1,1 kW | 1,5 kW |
|---------------------|---------|---------|---------|--------|--------|
| SEW Movimot | 1,3 A | 1,6 A | 1,9 A | 2,4 A | 3,5 A |
| Lenze Motec 8400 MH | 1,3 A | 1,8 A | 2,4 A | 3,2 A | 3,8 A |
| Lenze Motec 8400 MF | | 1,8 A | 2,3 A | 3,2 A | 3,9 A |
| Nordac SK180E | 2,3 A | 2,6 A | 3,2 A | 4,1 A | 6,0 A |
| Simatics G110M | 1,3 A | | 2,2 A | 3,1 A | 4,1 A |
| Armorstarter 284 | 2,2 A | | 3,8 A | | 6,4 A |
| Armorstarter 294 | 2,0 A | | 3,7 A | | 6,5 A |

SK180E:llä on mahdollista ohjata moottoria lineaarisella V/f –ohjauksella, avoimen silmukan VFC –ohjauksella ja anturittomalla virta-vektori ohjauksella (Getriebebau Nord 2020a, 171).

Mekaanisesti SK180E ominaisuudet ovat riittävät; normaaliin käyttöön soveltuva ympäristön lämpötila-alue on $-25^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ ja laitetta voidaan käyttää vielä 50°C lämpötilassakin, mutta tällöin antovirta pienenee (Getriebebau Nord 2020a). Huomionarvoista on kuitenkin, että sisäisen Profinet –kortin käyttöympäristön lämpötilan yläraja on 25 astetta, kun käytötapa on S1 eli jatkuva ja taajuusmuuttaja on kiinnitetty moottoriin. Raja nousee kuitenkin 40 asteeseen käyttötavan ollessa jaksollista ajoittaiskäyttöä (S3) esimerkiksi 50 % käytöllä. (Getriebebau Nord 2020b, 2). Tällä saattaa olla vaikutusta lopullisiin valintoihin, sillä vaikka kuljetinkäyttö ei usein olekaan S1 luokan tapaista ja kyseiset kuljettimet usein operoivat alhaisissa lämpötiloissa, olisi suotavaa, että samaa ratkaisua voitaisiin käyttää kaikissa projekteissa. Sisäisen Profinet –kortin sijaan on mahdollista käyttää ulkoista, laitteen kylkeen tai erikseen sijoitettavaa lisämoduulia, jolloin Profinet –kortti ei tuo lisärajoituksia käyttöympäristölle. Suojaus ympäristöä vastaan on vakiona IP55, ja laitetta on mahdollisuus saada myös IP66 luokitettuna.

Nord:n taajuusmuuttaja – moottori –yhdistelmä on SEW:n jälkeen vertailuun valituista laitteista pienikokoisin verrattaessa saman tehoisia, 50 Hz:n laitteita keskenään. Laskelmiensa pohjalta Nord myös ehdottaa käytettäväksi hieman pienempi tehoisia yhdistelmiä, kuin mitä SEW:n tällä hetkellä käytössä olevat ovat ja taulukon 1 perusteella nämä laitteet voidaankin todeta ulkomitoiltaan käyttöön soveltuviksi.

Tarvittavat CE ja UL hyväksynyt ja sertifikaatit ovat saatavilla. Näiden lisäksi on mahdollista saada laitteet varustettuna myös CSA (Kanada), C-tick, (Australia) ja EAC (Euraasia) hyväksynnöillä. (Getriebebau Nord 2020a, 23.)

4.4 Siemens Sinamics G110M

Siemensin valmistamaa Sinamics G110M integroitua taajuusmuuttajaa on saatavilla 0,37 kW:sta 4,0 kW:n versioon. Tällä välillä G110M –mallia on tarjolla isommalla porrastuksella kuin muita vertailun laitetta ja se tarjoaakin Cimcorpia kiinnostavalla tehoalueella vain kolmea erikokoista laitetta: 0,37 kW, 0,75 kW ja 1,1 kW. 24 V ohjausjännitettä varten laitteessa on sisäinen virtalähde. Vaihtoehtoisesti taajuusmuuttajaan voidaan valita ulkoinen 24 V virtalähde, joka ottaa virran päävirran syötöstä. Ohjausjännite pysyy päällä, mikäli moottoreiden syöttö katkaistaan esimerkiksi hätä-seis-painikkeesta. Laitteeseen kiinni tuleva huoltokytkin on saatavilla lisävarusteena ja se katkaisee päävirransyötön. STO ominaisuus sisältyy G110M malliin vakiona, ja sitä voidaan ohjata F-DI:n tai PROFIsafen kautta. Häätökytkin voidaan kytkeä suoraan integroituun fail-safe tuloon, eikä tällöin vaadi muita komponentteja. Sisäinen jarruvastus kuuluu myös laitteiden vakiovarusteluun ja paikoittamisominaisuus käyttää apunaan rajakytkimiä. (Siemens AG 2016.)

G110M mallissa on neljä digitaalista tuloa ja kaksi lähtöä sekä kaksi analogista tuloa. Analogisia tuloja voidaan käyttää myös digitaalisina tuloina ja yksi tuloista voidaan parametroida digitaalseksi fail-safe –tuloksi. Profinet ja Ethernet/IP liitännät ja yhteensopivuus kuuluvat taajuusmuuttajan vakio-ominaisuuksiin, mutta Ethercat yhteensopivuus puuttuu.

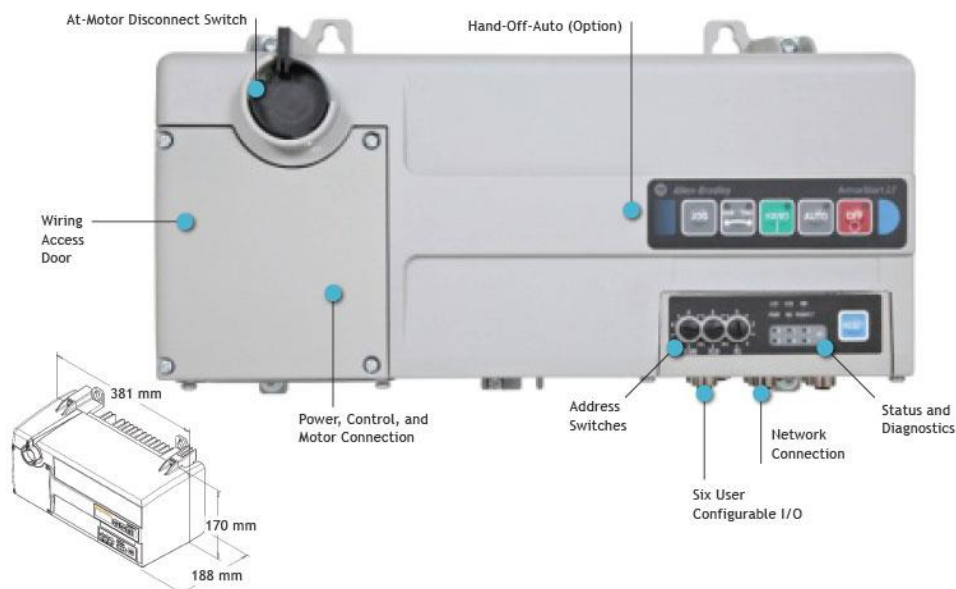
Laitteen kannessa olevat LED:t ilmaisevat yleisiä vika- ja kommunikaatiotiloja. Tunnistus ja huoltotiedot voidaan välittää ylemmän tason ohjaukselle ja hälytyksistä hälytyslogiin tallentuvat hälytyskoodi, sen arvo ja kaksi aikaa. Vikatilanne esitetään ensimmäisen vikasanan kolmannessa bitissä. Operaattoripaneelille vikakoodit tulostuvat muodossa Fxxxxx ja hälytykset voidaan kuitata digitaalisen tulon, hallintasanan yksi kautta operaattoripaneelin välityksellä tai käyttämällä virtalähde pois ja päälle.

G110M on integroitu täysin yhteensopivaksi TIA:n ja TIA Portalin kanssa, niinpä käyttöönotto, ohjelmointi ja diagnostiikka voidaan hoitaa suoraan väylän kautta samalla ohjelmistolla, mitä käytetään esimerkiksi Siemensin PLC –laitteiden ohjelmointiin. Moottorinohjaustavoista valittavana ovat V/f, FCC ja anturiton vektoriohjaus. (Siemens AG 2018.)

Sopivaksi vaihteluväliksi ympäristön käyttölämpötilalle Siemens ilmoittaa -10°C – 55°C , mutta mentäessä yli 40°C antovirta alkaa vähentyä. Suojauksen osalta laitetta on saatavana aina IP66 –luokkaan asti. Ulkomitoiltaan tämä taajuusmuuttaja-moottori on vertailun isokokoisin ylittäen osittain annetut vaatimukset: 0,37 kW:n yhdistelmä on kahdeksan senttimetriä pidempi ja 0,75kW yhdistelmä viisi senttimetriä pidempi kuin Nordin tarjoamat vaihtoehdot. CE –hyväksyntä ja UL –sertifikaatti ovat mahdollisia. (Siemens AG 2018.)

4.5 Allen-Bradley Armorstart 294

Armorstart 294 otettiin jälkikäteen mukaan vertailuun Allen-Bradleyn Pohjois-Amerikan suosion takia. Armorstart mallia on saatavilla vain seinäkiinnityksellä (Kuva 8), joka ei ole optimaalinen vaihtoehto suurimpaan osaan kuljetinkäytöistä. Osoittautessaan sopivaksi, se kuitenkin tarjoaisi vaihtoehdon varsinkin Pohjois-Amerikkaan suuntautuvissa projekteissa.



Kuva 8. Armorstart 294 (2019 Rockwell Automation)

Armorstart 294 hajautetun käytön taajuusmuuttajaa on saatavilla 0,37 kW:n, 0,75 kW:n ja 1,5 kW:n tehoilla. Virrankulutus on suurempi kuin, muilla vertailtavilla laitteilla, ainoastaan Nordac SK180E 0,37 kW ottaa enemmän virtaa. Esimerkiksi 1,5 kW:n laitteen ottovirta on 6,5 A kun SEW:llä ja Lenzellä se jää alle neljän ampeerin. 24 V:n ohjausjännitettä varten laitteessa on ulkoinen, erikseen johdotettava, virtalähde. Vaihtoehtoisesti se voidaan korvata sisäisellä virtalähteellä, joka ottaa virran päävirransyötöstä. Taajuusmuuttajassa on paikallinen ON/OFF –kytkin, joka katkaisee virransyötön moottoriterminaalilta ja digitaalisilta lähdöiltä. Moottorinohjaus on mahdollista ainoastaan V/f –ohjauksella, eikä paikoitusominaisuutta ole. (Rockwell Automation 2012.)

Armorstart 294 on mahdollista varustaa Ethernet/IP liittynällä, mutta se ei ole yhteensopiva Profinetin tai Ethercatin kanssa. Laitteessa on kuusi M12 –liittimistä, ohjelmitavissa olevaa, DI/DO –paikkaa. Haluttaessa Armorstart 294 voidaan siis varustaa esimerkiksi kuudella tulolla ilman lähtöjä tai kuudella lähdöllä ilman tuloja. Armorstart 294 –malliin ei ole saatavilla STO:ia. (Rockwell Automation 2012.)

Laitteessa on 12 LED lamppua, jotka ilmaisevat laitteessa ilmaantuvat vika- ja varoitustilanteet, nämä koodit raportoidaan myös nettiserverillä ja bitti - enumerointeina Tripstatus parametri 16:ssa DeviceLogix –ohjelmassa. Nettiserveri voidaan myös ohjelmoida lähettämään sähköpostiviestit ilmenevistä vika- ja varoitustiloista. Hälytykset voidaan kuitata manuaalisesti tai automaattisesti, manuaalinen kuittaus voidaan suorittaa laitteessa kiinni olevan kuittaus painikkeen tai verkon kautta. Automaattinen kuittaus taas kuittaa hälytyksen kun vikatilanne häviää. Ohjelmointi, konfigurointi ja ylläpito voidaan toteuttaa kokonaisuudessaan Allen-Bradleyn omalla RSLogix 5000 ohjelmalla. (Rockwell Automation 2012.)

Sopiva ympäristön käyttölämpötila laitteelle on -20°C – 40°C ja suojausluokitus on IP66. Ulkomitoiltaan Armorstart 294 on muutoin samassa kokoluokassa, kuin muidenkin merkkien seinäkiinnitysmallit, mutta leveydeltään se on selvästi isompi, ollen lähes 400 mm leveä. Laite täyttää sekä CE että UL vaatimukset ja molemmat hyväksynät on siis mahdollista saada. (Rockwell Automation 2012.)

5 VERTAILUN TULOKSET JA TESTILAITTEIDEN VALINTA

Sinamics G110M vastaa ominaisuuksiltaan eniten SEW Movimotia, se sisältää jo vakiona STO –toiminnon, jarruvastuksen ja täyttää pääsääntöisesti laitteelle asetetut toiminnalliset vaatimukset. Toisaalta, kuten aikaisemmin on todettu, on esimerkiksi STO ominaisuus, jolle ei ole käyttöä kuin erikoistilanteissa ja saattaa näin ollen turhaan kasvattaa taajuusmuuttajan hintaa. Vaikka Siemensiltä puuttuukin valikoimastaan 0,25 kW:n ja 0,55 kW:n versiot, on valikoima käytännössä tarpeeksi kattava Cimcorpin tarpeisiin. Fyysiset mitat aiheuttavat hieman huolta, ja paperilla 1,1 kW:n yhdistelmä näyttäisikin olevan muutaman senttimetrin liian pitkä. Ethercat –yhteensopivuuden puuttumisella on tulevaisuutta ja opinnäytetyön tarkoitusta ajatellen vaikutusta testilaitteeksi kelpuuttamiseen.

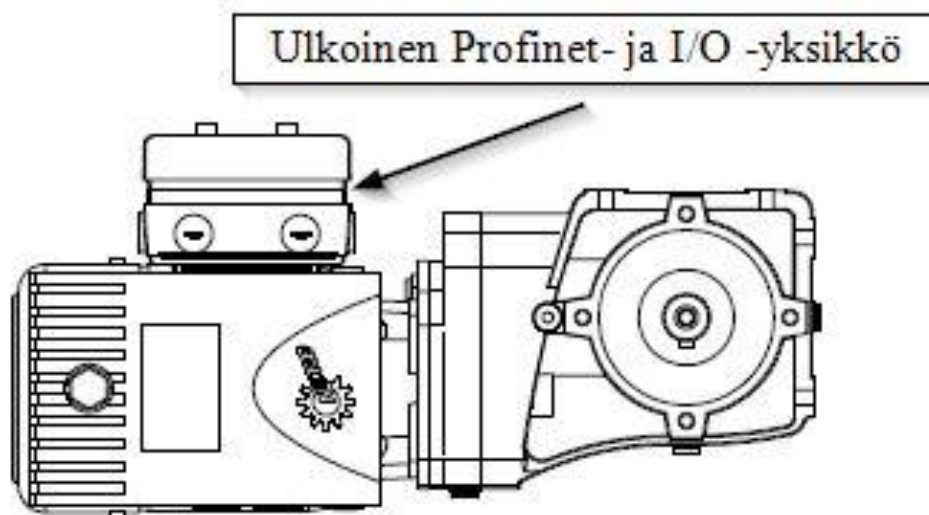
Armorstart 294:n suuri virrankulutus on hieman huolestuttavaa, mutta samaa voidaan sanoa Nordac SK180E:stä, eikä tämä yksinään riitä vaikuttamaan valintapäätöksiin. Saatavilla olevien versioiden tehot ovat kuitenkin jokseenkin sopimattomia Cimcorpin kuljetinkäyttöihin. Mallistosta puuttuu 0,55 kW versio, joka teoriassa voitaisiin korvata 0,75 kW laitteella mutta 1,1 kW taajuusmuuttajan puuttuminen on suurempi ongelma. Suurin 1,5 kW:n laite tarjoaa enemmän tehoa kuin tarvitaan, ja sen virrankulutus onkin jo huomattavan suuri 6,4 ampeeria. Tämä rajoittaa sarjaan kytkettävien taajuusmuuttajien määrän kahteen, sulakkeiden ollessa 16 ampeerisia. Armorstart 294:n suurin puute on kuitenkin moottoriin integroitavan mallin puuttuminen, eikä sitä tämän takia oteta tällä kertaa testaukseen mukaan. Muilta ominaisuuksiltaan 294 soveltuu kuitenkin hyvin kuljetinkäyttöön ja sen käyttöä voitaisiin harkita, mikäli esimerkiksi asiakkaan toiveena olisi Allen-Bradleyn laitteisto; Profinet ja Ethercat –yhteensopivuuden puuttuminen rajoittaisivat Armorstartin käyttöä monissa muissa tapauksissa.

Lenzen Motec 8400 ja Nordac SK180E sisältävät kaikki tarpeelliset ominaisuudet ja toiminnallisuudet, joita niiden tarkoitettu käytössä tarvitaan. Lenze Motec 8400 tarjoaa valinnaisia turvaominaisuuksia ja sen extended –malli tarjoaa eniten digitaalisia tuloja, lähtöjä tässä laajimmassa versiossakin on kuitenkin vain yksi. Lähtöjen vähyyden ei välttämättä ole ongelma, sillä normaalisti yksikin digitaalinen lähtö on riittävä. Motec 8400 –mallien virrankulutukset ovat samassa linjassa SEW Movimotien kanssa, ja

ovatkin vertailun uusista laitteista vähäisimpiä. Sisäisen kenttäväylä –kortin käyttäminen ei myöskään tuo rajoituksia käyttöympäristön lämpötilaan toisin kuin Nord:n tarjoamissa vaihtoehtoisissa. Toisaalta itsenäisen paikoituksen puuttuminen tarkoittaisi anturiperusteista tai ohjauskaapin PLC:n kautta tapahtuvaa paikoittamista esimerkiksi kääntöpöytien kanssa.

Koska Lenzen tarjoamien MF –moottorien nimellistaajuus on 120 Hz, eivät standardissa IEC 60034-30 määritellyt energiatehokkuusluokkien vaatimukset koske niitä. Näin ollen pakolliset energiatehokkuusvaatimukset eivät säätele näiden moottoreiden käyttöä, eivätkä siten suoraan vaikuta negatiivisesti niiden kelpoisuuteen minkäänlaisessa käytössä. Toisaalta luokituksen puuttuminen saattaa aiheuttaa ongelmia joidenkin asiakkaiden kohdalla: vaikka MF -moottorien energiatehokkuus olisikin käytännössä vaatimusten mukainen, ei niitä välttämättä hyväksytä nimenomaan luokituksen puuttumisesta johtuvista syistä.

Nordac SK180E on fyysisiltä mitoiltaan vain hieman nykyistä SEW Movimotia isompi ja on riittävän pienikokoinen asennettavaksi Cimcorpin nykyisiin kuljettimiin verrattain vähäisellä kuljettimen muokkauksella. SK180E on muutoinkin ominaisuuksiltaan hyvin tarkoitettuun käyttöön soveltuva, STO ja paikoittaminen puuttuvat, mutta niissä tilanteissa, joissa näitä tarvitaan, voidaan käyttää saman valmistajan hieman järeämpää mallia SK200E:tä. Ainoina suoranaisina miinuksina voidaan SK180E:lle katsoa sen jonkin verran suurempi virrankulutus verrattuna esimerkiksi Sinamics G110M:än ja Lenze Motec 8400:an ja sisäisen kenttäväylä –kortin asettamat rajoitukset käyttöympäristön lämpötilalle. Kortin rajoitukset johtuvat integroidun moottorin tuottamasta lämmöstä, jonka takia kortin Ethernet –sirun lämpötila saattaa nousta yli suosituksen. Sirun kuumeneminen yli suositeltujen rajojen taas saattaa aiheuttaa verkoyhteyden katkeamisen tai jopa sirun rikkoontumisen. Tähän asiaan tulee kiinnittää erityistä huomiota testausvaiheessa, jossa pitääkin pyrkiä selvittämään kortin asettamia rajoja käyttämällä moottoria isolla kuormituksella eri lämpötiloissa. Kortin lämpötilarajoitukset voidaan kiertää käyttämällä ulkoista korttia, mutta ulkoisen moduulin lisääminen kasvattaa laitteen kokoa ja saattaa aiheuttaa ei toivottuja vaikutuksia liitännöiden sijoittelussa (Kuva 9).



Kuva 9. Nordac SK180E ja moottori sekä Profinet- ja I/O -kortti ulkoisessa moduulissa

Lenzen Motec 8400 ja Nord:n Nordac SK180E ovat vertailun perusteella sopivimmat mallit otettavaksi mukaan testaukseen. Molemmilta valmistajilta on pyydetty sopivista kokoonpanoista 3D –kuvat, joiden avulla on voitu etukäteen varmistua fyysisten mittojen yhteensopivuudesta kuljettimiin. Kustannustehokkuuden vertailua varten näistä laitteista pyydettiin myös tarjoukset, joita verrattiin jo toteutuneisiin, laitemäärältään saman suuruisiin Movimot –hankintoihin. Tarjouksien perusteella SK180E:n ja Motec 8400:n todettiin olevan hankintahinnaltaan noin 25% SEW Movimotia edullisempia.

Testauskäytössä konfiguroinnin ja ohjauksen helppous, monipuolisuus ja sujuvuus sekä liitäntöjen sijoittamismahdollisuudet nousivat tärkeään asemaan yhdessä yleisen käytettävyyden ja luotettavuuden kanssa. Valmistajien kanssa käytyjen keskustelujen ja tarjouspyyntöjen jälkeen testausvaiheeseen valitaan Motec 8400 ja Nordac SK180E tämän opinnäytetyön yhteydessä.

6 TESTILAITTEIDEN KÄYTTÖÖNOTTO

Nordilta testaukseen otettiin kolme eri tehoista laitetta kolmea eri kuljetinpituuksia varten. Näistä kahteen tuli sisäinen ja yhteen ulkoinen Profinet -moduuli. SK180E taajuusmuuttajat olivat tehtaalta saapuessaan valmiiksi parametroitu niihin liitettyjen moottorien mukaisesti. Testimielessä tilattiin myös kaksi erilaista parametrintyksikköä (Kuva 10), jotka voidaan liittää suoraan taajuusmuuttajan RJ12 malliseen diagnostiikkaliitännänsä. Parametrintyksiköillä on mahdollista muuttaa yksittäisiä parametreja, tallentaa ja ladata parametrisarjoja, sekä ajaa taajuusmuuttajaa. Nordin laitteita ehdittiin kokeilemaan ennen kuljettimiin liittämistä sekä parametrintyksikön kautta että Nordin omalla Nordcon ohjelmalla. Molempien kautta saatiin toimiva yhteys taajuusmuuttajiin, onnistuttiin muuttamaan parametreja ja ajamaan taajuusmuuttajaa.



Kuva 10. SK PAR-3H ja SK CSX-3H parametrinti- ja hallintayksiköt.

Lenzeltä tilattiin testejä varten kaksi muuten toisiaan vastaavaa, mutta eri tehoisilla MF moottoreilla varustettua kokonaisuutta. Myös Lenzen laitteet saapuivat tehtaalta valmiiksi niiden moottoreita vastaavilla parametreilla. Molempien valmistajien laitteet olivat varustettu kolmella digitaalitulolla ja yhdellä digitaalilähdöllä.

Varsinaista käyttöönottestausta varten molemmilta valmistajilta asennettiin yksi laite jo olemassa olevaan kuljetinjärjestelmään (Kuva 11). Tavoitteena oli muodostaa toimiva Profinet -yhteys laitteiden ja PLC:n välille, sekä mahdollistaa kuljettimien

ohjaus PLC:n kautta. Testauksessa käytettiin apuna molempien valmistajien omia parametointi- ja hallintaohjelmia, Nordin Nordcon ja Lenzen Engineering. Ohjelmoitava logiikkana toimi Siemens Simatic S7-1500 ja ohjelmointiympäristönä TIA Portal 15.



Kuva 11. Nordac SK180 (yllä) ja Lenze Motec 8400 (alla) moottoreineen asennettuna kuljettimiin

Kuljetinjärjestelmä, johon testilaitteet asennettiin, ja sen PLC –ohjaus olivat jo valmiita, kuljettimien testauksessa käytettyjä, kokonaisuuksia. Molempien valmistajien taajuusmuuttajat saivat PLC:n kautta automaattisesti oikean Profinet –nimen sekä IP-osoitteen. Näiden vaihtaminen manuaalisestikaan ei ole vaikea toimenpide, vaan onnistuu kätevimmin käyttämällä valmistajien omia ohjelmistoja tai Siemensin Proneta ohjelmaa.

Taajuusmuuttajien varsinainen testaus virheherkkyyksien, kestävyuden ja muiden pidempää testausta vaativien asioiden osalta päätettiin rajata opinnäytetyön ulkopuolelle ja keskittyä käyttöönottoon ja PLC kommunikoinnin mahdollisuuksiin.

6.1 Nordac SK180E:n käyttöönotto

SK180E:n Profinet -moduuli on varustettu DIP -kytkimillä (Kuva 12), joiden kautta voidaan hallita Profinet -väylän yli tapahtuvan parametrien kirjoittamisen ja laitteen ohjauksen oikeuksia. Nämä tulee asettaa oikeisiin asentoihin, jotta PLC -ohjaus väylän kautta mahdollistuu. Lisäksi, jotta taajuusmuuttaja lukisi ohjaussanan ja asetusarvot Profinet -väylän kautta, tulee parametrin 509, ohjaussanan lähde, arvoksi asettaa system bus ja parametrin 510, asetusarvon lähde, arvoksi auto.

| DIP switch | | | | | | | | | | | Meaning | |
|--------------------------------------|----|----|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---------|---|
| 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | |
| X | X | X | No function | | | | | | | | X | |
| | | | | | | | | | | | 0 | System bus terminating resistor not set. |
| | | | | | | | | | | | 1 | System bus terminating resistor set. |
| Access rights for remote maintenance | | | | | | | | | | | | |
| | | 0 | | | | | | | | | | Only read access to parameters possible. |
| | | 1 | | | | | | | | | | Read and write access to parameters possible. |
| | | 0 | | | | | | | | | | No control possible. |
| | | 1 | | | | | | | | | | Control is possible. |
| 0 | | | | | | | | | | | | TCP/IP open connection. |
| 1 | | | | | | | | | | | | Secure TCP/IP connection. |

1. System bus (DIP 1)

The system bus must be terminated at both physical ends.

2. (DIP 2 ... 9)

No function.

3. Access rights for remote maintenance (DIP 10 ... 12)

The bus interface and the connected frequency inverter can be accessed using remote maintenance via the Ethernet TCP and UDP protocols. The type of access is defined via the DIP switch with inputs 10 to 12.

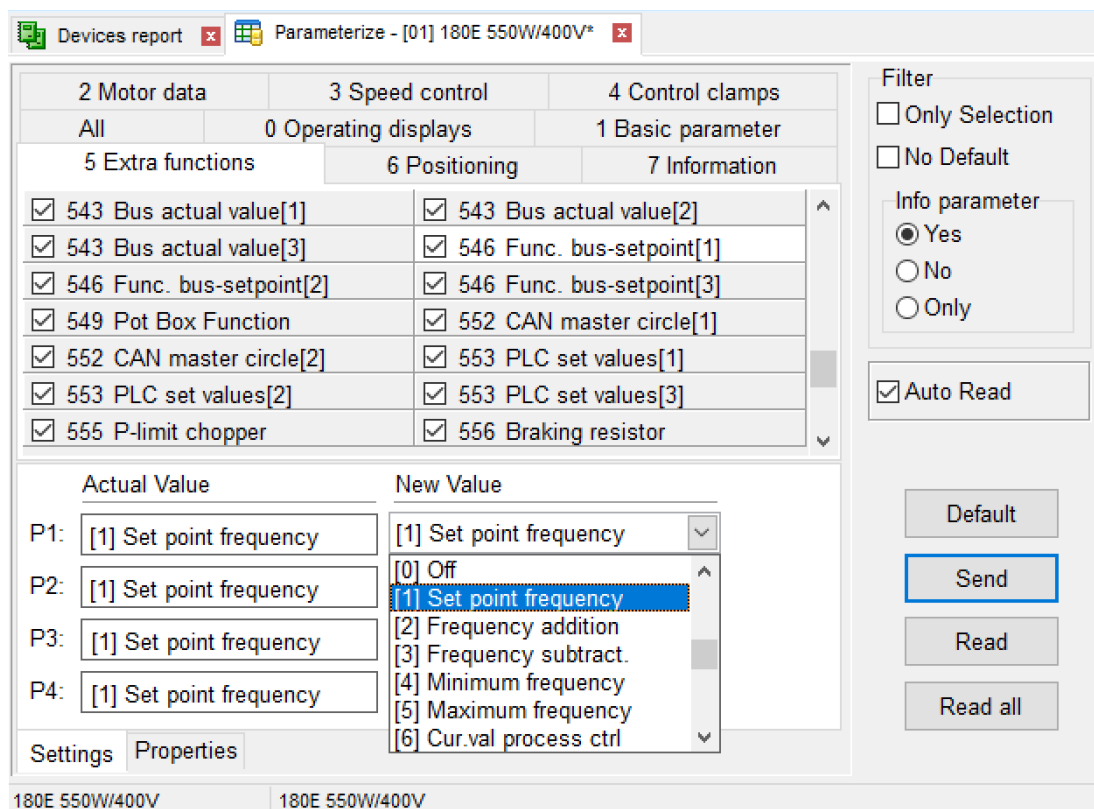


Factory settings DIP switches: OFF

Kuva 12. Nord SK CU4-PNT moduulin DIP kytkimet (Getriebebau Nord 2020b, 5)

Parametrien asettamiseen käytettiin pääasiassa Nordin Nordcon ohjelmaa, jolla laitteen kaikkien parametrien hallinta oli nopeaa ja yksinkertaista. Parametrintietyksikön kautta yksittäisten parametrien asettaminen onnistui myös melko kivuttomasti, mutta muutettaessa useampaa parametria samalla kertaa, osoittautui Nordcon ohjelma huomattavasti käyttäjäystävällisemmäksi. Yhteys Nordconin ja sitä kautta hallittavan laitteen välille oli helppo muodostaa, kun tiedettiin laitteen IP-osoite. Nordcon ohjelmaan annetaan haluttu IP-osoitteiden alue, jolta ohjelma itse etsii ja tunnistaa laitteet, sekä muodostaa niihin yhteyden. Tämän jälkeen parametreja pääsee lukemaan ja kirjoitta-

maan ohjelman kautta, jossa parametrit on listattu selkeästi numerojärjestyksessä. Parametrit on myös nimetty kuvaavasti ja asetusvaihtoehtojen lisäksi, niistä on saatavilla myös tarkempaa kuvausta ja tietoa (Kuva 13).

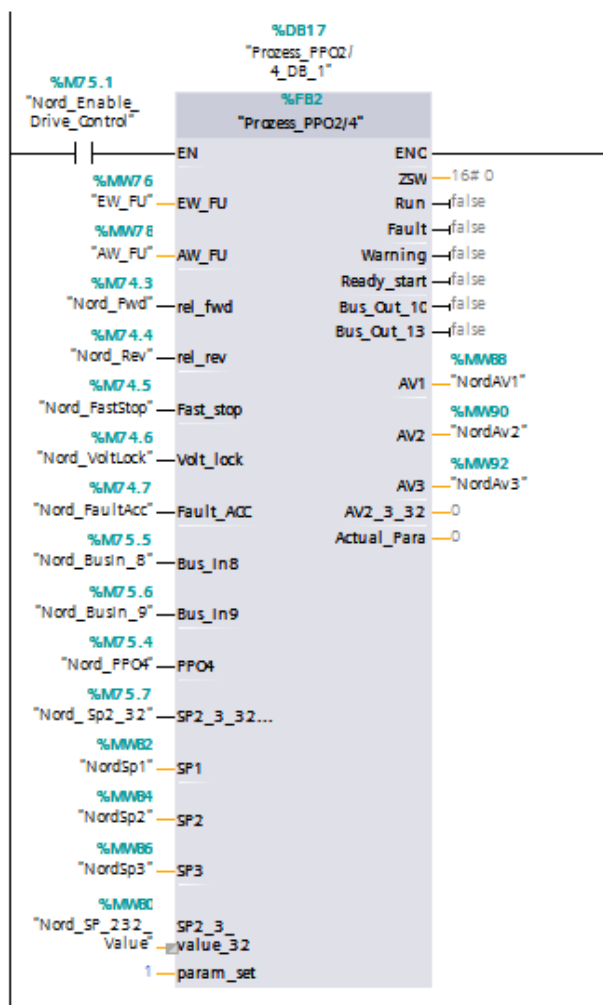


Kuva 13. Nordcon ohjelman parametointi-ikkuna

Parametrikokonaisuuksia voidaan hallita sekä Nordcon –ohjelmalla että SK PAR-3H parametrintyökalulla. Nordcon -ohjelmalla löydettyjen laitteiden parametrit voidaan ladata tietokoneelle ja tallentaa ne parametritiedostoksi. Olemassa oleva parametritiedosto taas voidaan ladata Nordcon –ohjelmalla joko oikeanlaiseen laitteeseen tai yhteen SK PAR-3H -parametrintyökalun viidestä muistipaikasta. Näihin muistipaikoihin voidaan tallentaa parametrisarjoja myös suoraan laitteesta diagnostiikkaliitännän kautta. SK PAR-3H:n muistissa olevat parametrisarjat voidaan kopioida suoraan laitteelle saman diagnostiikkaliitännän kautta tai siirtää Nordcon –ohjelmalla tietokoneen muistiin. Taajuusmuuttaja ja Profinet -moduuli ovat parametroinnin näkökulmasta erilliset laitteet ja niillä on molemmilla omat parametrisarjansa. Tämä helpottaa parametrien monistamista laitteesta toiseen, sillä laitteen kommunikatioasetukset eivät muutu ladattaessa taajuusmuuttajan parametreja. Kokonaisten parametritiedostojen hallinta ei ole mahdollista SK CSX-3H hallintayksiköllä.

Taajuusmuuttajan GSDML tiedosto saatiin ladattua Nordin sivuilta. Kuljetinjärjestelmään asennettiin sisäisellä Profinetillä varustettu taajuusmuuttaja, jolloin laitteen tyyppi TIA Portalin laitekonfiguraatiossa on CU4-PNT. PPO:n eli parametri/prosessi-dataobjektin pituudeksi valittiin neljä sanaa, jolloin PLC:n ja taajuusmuuttajan välillä kulkee ohjaus- ja tilatietosanan lisäksi kolme arvoa molempiin suuntiin. Näin voidaan siis asettaa esimerkiksi kolme erilaista nopeusohjetta ja lukea kolmea eri diagnostiikka tietoa taajuusmuuttajasta. Kun oikea laitekuvaus on asennettu ja oikeat moduulit on lisätty PLC:n laitekonfiguraatioon oikeaan paikkaan, tunnistaa PLC taajuusmuuttajan.

Ohjauksessa käytettiin Nordin valmista esimerkkilohkoa (Kuva 14). Lohko yksilöidään tietylle taajuusmuuttajalle syöttämällä laitekonfiguraatiossa PPO:lle annetut tulot ja lähtöosoitteet EW_FU ja AW_FU tuloihin. Kun nämä on asetettu, PLC kykenee lähettämään ja vastaanottamaan tietoa taajuusmuuttajasta ja vihreä diagnostiikkaledi vilkkuu hitaasti muodostetun yhteyden merkiksi.



Kuva 14. Nordac SK180E taajuusmuuttajan ohjauslohko TIA Portalissa

Taajuusmuuttajaan voidaan tallentaa neljä eri parametrikokonaisuutta, joista voidaan valita se, jota käytetään. Käytettävää kokonaisuutta voidaan myös vaihtaa kesken ajon ja se valitaan syöttämällä ohjauslohkoon halutun kokonaisuuden numero param_set tuloon.

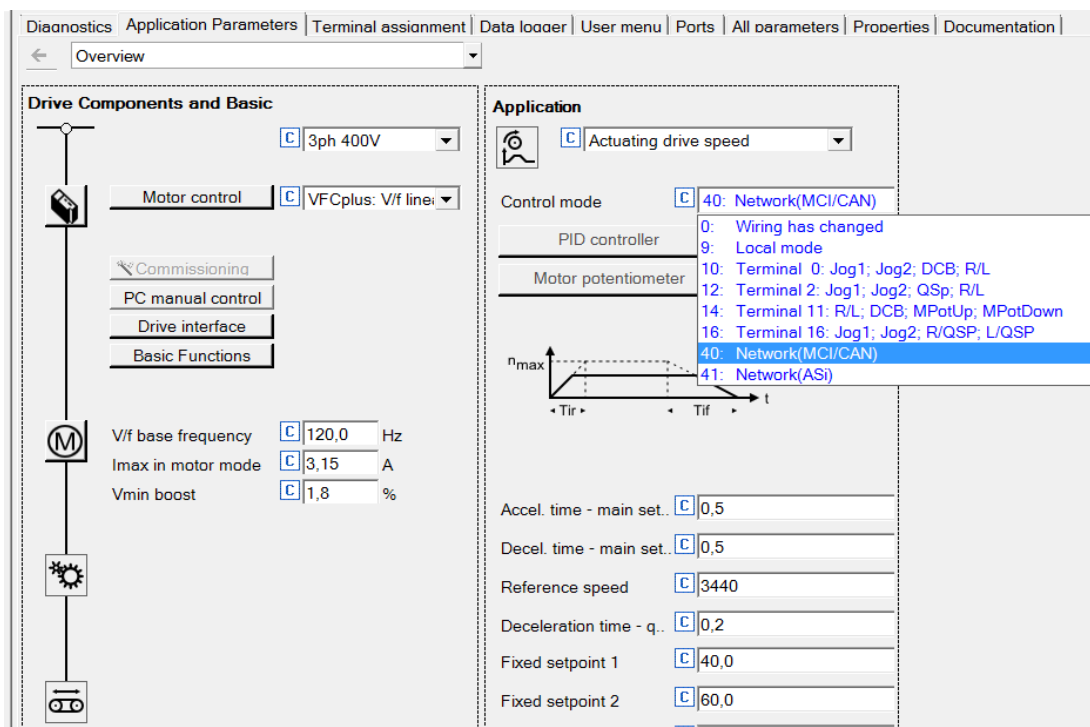
Taajuusmuuttaja voidaan saattaa aktiiviseen (eng. enable) tilaan asettamalla volt_lock ja fast_stop tulobitit, jonka jälkeen asettamalla rel_fwd tai rel_rev tulobitti taajuusmuuttaja alkaa pyörittää moottoria asetettua bittiä vastaavaan suuntaan. Fast_stop tulobitin nollaaminen pysäyttää kuljettimen, kuljettimen käynnistäminen uudelleen vaatii fast_stop bitin asettamisen sekä uuden nousevan reunan rel_fwd tai rel_rev bitille.

Parametrilla 546 Func. Bus-setpoint voidaan kuvan 13 mukaisesti valita, mitä arvoa mikäkin PLC:n lähettämä SP (setpoint) vastaa, neljän sanan mittaisella PPO:lla voidaan PLC:n kautta asettaa kolme eri arvoa. Asettamalla P546[1] nopeuden arvoksi voidaan siis PLC:n kautta asettaa pyörimisnopeus SP1 arvon mukaiseksi. Jos taas kuljettimessa tarvitaan esimerkiksi kahta eri nopeutta, voidaan SP2 asettaa vastaamaan arvoa, joka lisätään tai vähennetään SP1:stä. Parametrilla 543 voidaan taas valita mitä tietoja taajuusmuuttaja lähettää PLC:lle. Esimerkkilohkossa nämä tiedot tulostuvat ohjauslohkon Actual Value (AV) lähtöihin. Yhtenä alkuperäisenä vaatimuksena oli lukea taajuusmuuttajan DI tiedot väylän kautta ja tässä onnistuttiin asettamalla P543[2] parametriksi digitaaliset tulot. Digitaalisen lähdon ohjausta varten SP3 parametroitiin vastaamaan väylä -I/O:n tulobittejä, josta ensimmäinen bitti määritettiin vastaamaan digitaalisen lähdon asettamista. Testattaessa AV1 (P543[1]) asetettiin näyttämään moottorin pyörimisnopeuden ja AV3 (P543[3]) virhekoodin. Mahdollisuus virhekoodin lukemiseen tällä tavalla on erittäin hyödyllistä.

6.2 Lenze Motec 8400:n käyttöönotto

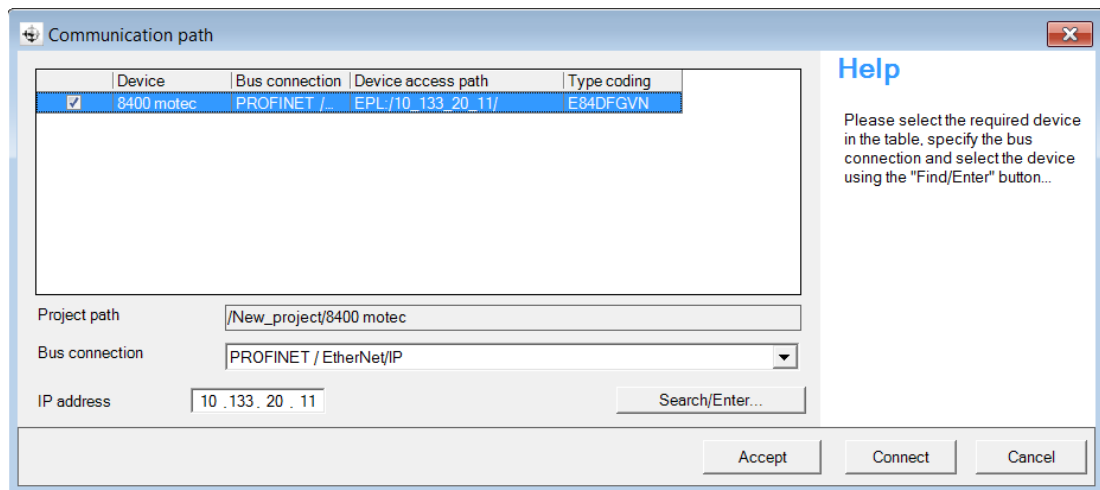
Lenzen käyttöönotto noudattaa samoja linjoja Nordin laitteen kanssa. Lenzen sivuilta saatavasta GSDML paketista valitaan oikeanlainen moduuli, tässä tapauksessa E84DGFCR 8400 Motec eli sisäinen Profinet -moduuli. Myös Lenzen kanssa prosessidatan pituudeksi valittiin neljä sanaa. Taajuusmuuttajan parametreista pitää ohjaus-

tavaksi valita väyläohjaus, jotta taajuusmuuttajaa voi ohjata PLC:n kautta. Ohjaustavan voi asettaa itse Lenzen Engineering ohjelmalla, tai sen voi asettaa kuvassa 15 näkyvästä Commissioning -painikkeesta suoritettavan avustetun käyttöönoton aikana. Avustettua käyttöönottoa ei ole välttämätöntä suorittaa, mutta sitä kautta voidaan tarvittaessa ohjatuksi asettaa taajuusmuuttajalle moottori, kommunikaatio ja ohjausparametrit.



Kuva 15. Oikean hallintatavan valinta Engineering ohjelmassa

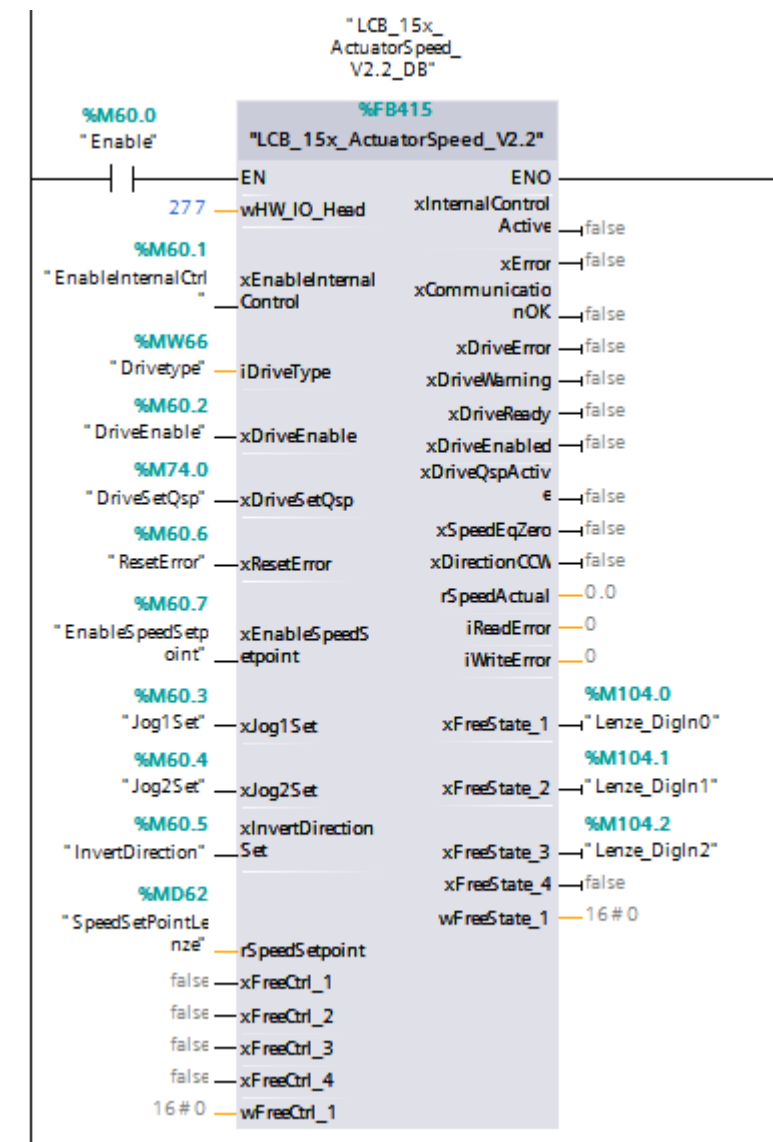
Engineering ohjelmalla voidaan muodostaa yhteys taajuusmuuttajaan syöttämällä laitteen IP-osoite kuvassa 16 näkyvän Communication path -ikkunan IP-osoite kohtaan ja valitsemalla Search/Enter. Mikäli laitteelle ei vielä ole annettu IP-osoitetta voidaan se asettaa Engineering ohjelman Profinet -osoitteiden asetus toiminnolla, joka löytää kaikki tietokoneen kanssa samaan verkkoon kytketyt Lenzen Profinet -laitteet.



Kuva 16. Yhteyden muodostaminen Engineering ohjelman ja taajuusmuuttajan välille

Lenze Engineering –ohjelmalla voidaan hallita kokonaisia parametrisarjoja. Haluttu parametrisarja avataan ensin Engineering ohjelmaan, jonka jälkeen se voidaan kopioida taajuusmuuttajaan. Ladattaessa parametreja laitteelle, voidaan valita, halutaanko myös kommunikaatioon ja moottorin tietoihin liittyvät parametrit siirtää vai siirtääkö pelkästään taajuusmuuttajan toimintaan liittyvät parametrit. Myös niiden parametrien siirto, joiden muuttaminen vaatisi laitteen pysäyttämistä, voidaan ohittaa. Laitteelta Engineering –ohjelmaan ladatut parametrit voidaan tallentaa parametritiedostoksi tietokoneelle.

Ohjauksessa käytettiin Lenzen esimerkkilohkoa (Kuva 17), jolle annetaan tulo tiedoiksi laitetyyppi, nopeusarvo, ohjausbitit ja laitekonfiguraatiosta saatava HW_IO_Head, jonka perustella PLC osaa kommunikoida oikean taajuusmuuttajan kanssa. Laitetyypin valinta vaikuttaa Lenzen esimerkkiohjelman suorittamiseen, jossa sen avulla osataan suorittaa Motec 8400:n ohjaukseen ja diagnosoitiin tarkoitetut vaiheet.



Kuva 17. Lenze Motec 8400 taajuusmuuttajan ohjauslohko TIA Portalissa

Taajuusmuuttajalla on kolme kiinteää nopeusarvoa (fixed setpoint) 1, 2 ja 3. Näitä arvoja voidaan muuttaa Engineering ohjelmalla tai kirjoittamalla ne parametrienkirjoituslohkon avulla PLC:n kautta. Engineering ohjelmassa luvut vastaavat prosentteja, esimerkiksi luku 100 vastaa 100% referenssinopeudesta. Näiden lisäksi ohjauslohkoon voidaan itse antaa samanlainen arvo reaalityönä rSpeedSetpoint tuloon. Tätä arvoa on tarvittaessa helpompi muuttaa kesken ajon, kuin kiinteitä nopeusarvoja.

Jotta lohkon tuloilla olisi merkitystä, pitää xEnableInternalControl -bitin olla pois päältä. Kun kaikki edellä mainitut toimenpiteet on tehty, voidaan taajuusmuuttaja aktivoida (eng. enable) asettamalla xDriveEnable bitti. Tämän jälkeen asettamalla xEnableSpeedSetpoint -bitti taajuusmuuttaja lähtee pyörittämään moottoria rSpeedSetpoint

-muuttujaan kirjoitetun arvon mukaan. Kiinteät nopeusarvot voidaan aktivoida xJog1Set ja xJogSet2 -biteillä. xDriveSetQsp tulobitti aktivoi quick stopin ja kuljetin pysähtyy ennalta määritellyn rampin mukaisesti. Kun bitti otetaan pois päältä, kuljetin jatkaa toimintaansa normaalisti lohkon ohjeiden mukaan.

Lenzen Engineering ohjelmasta voidaan valita mitä mikäkin ohjauksena ja tilatietosana esittävät. Kuvassa 18 taajuusmuuttaja on ohjelmoitu välittämään digitaalisten tulojen tiedot PLC:lle sanassa 2, biteissä 0-2. Lenzen esimerkkilohkossa ne näkyvät lähtöjen kohdissa xFreestate_1 – xFreestate_3. Digitaalista lähtöä taas ohjataan PLC:ltä tulevan toisen sanan ensimmäisessä bitissä. Lenzellä digitaalisten tulojen vaikutuskohteen ja lähtöjen ohjauslähteen voi asettaa myös digitaaliterminaalien hallintaikkunassa (Kuva 19).

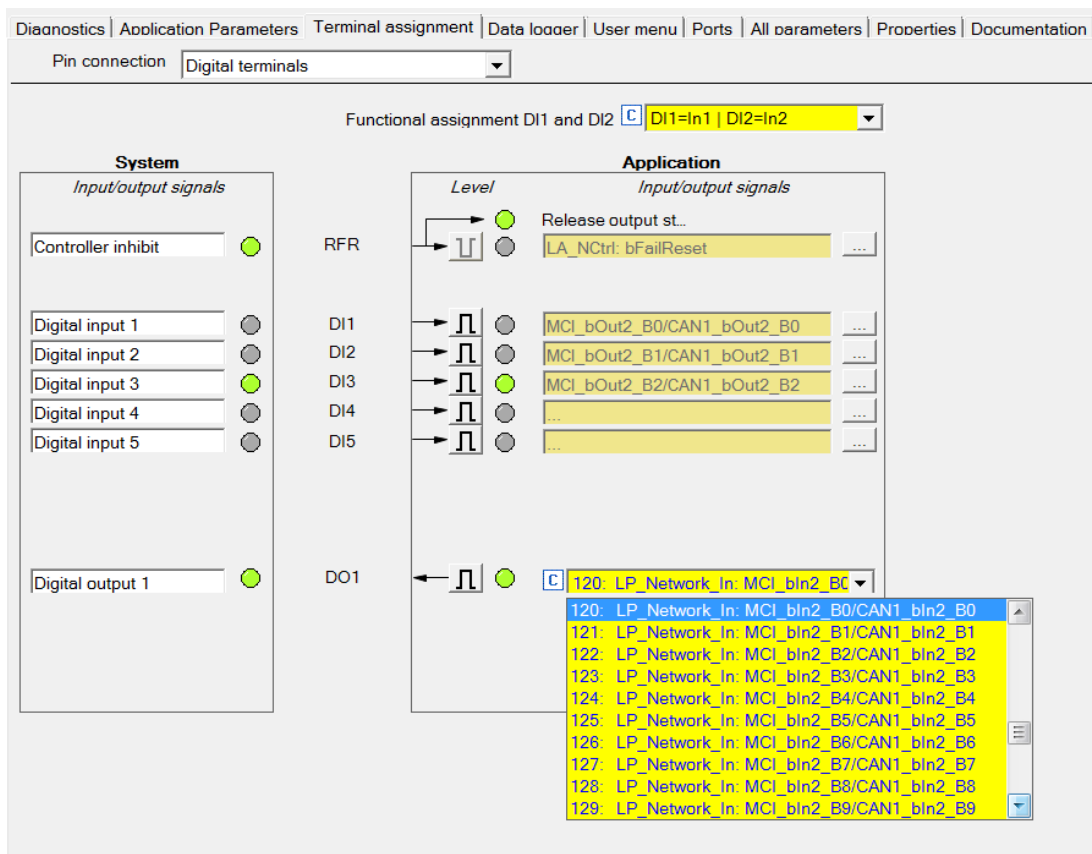
The screenshot shows the Lenz Engineering software interface. The main window displays the configuration for the 'Actuating drive speed' and 'MCI_OUT' ports. The 'Mapping' section shows the PROFINET/MCI_OUT_PROFINET: 0 mapping. The 'Application variables' table lists the following variables:

| EName | Signal | Type | Index | Online |
|--------|---------------|------|-------|--------|
| WORD_1 | | WORD | 16 | 0x0518 |
| WORD_2 | Not connected | WORD | 16 | 0x0004 |
| WORD_3 | | WORD | 16 | 0x0333 |
| WORD_4 | | WORD | 16 | 0x0333 |
| WORD_5 | Not connected | WORD | 16 | 0x0000 |
| WORD_6 | Not connected | WORD | 16 | 0x0000 |
| WORD_7 | Not connected | WORD | 16 | 0x0000 |
| WORD_8 | Not connected | WORD | 16 | 0x0000 |

The 'Signals for process data words' dialog box shows the following signals and their status:

| Signal | Status |
|-----------|----------------------|
| WORD_1 | LA_NCtrl_wDevice |
| WORD_2 | Not connected |
| WORD_3 | LA_NCtrl_nMotorSt |
| WORD_4 | LA_NCtrl_nMotorSt |
| WORD_5 | Not connected |
| WORD_6 | Not connected |
| WORD_7 | Not connected |
| WORD_8 | Not connected |
| WORD_9 | Not connected |
| bOut2_B0 | LS_DigitalInput_bin1 |
| bOut2_B1 | LS_DigitalInput_bin2 |
| bOut2_B2 | LS_DigitalInput_bin3 |
| bOut2_B3 | Not connected |
| bOut2_B4 | Not connected |
| bOut2_B5 | Not connected |
| bOut2_B6 | Not connected |
| bOut2_B7 | Not connected |
| bOut2_B8 | Not connected |
| bOut2_B9 | Not connected |
| bOut2_B10 | Not connected |
| bOut2_B11 | Not connected |
| bOut2_B12 | Not connected |
| bOut2_B13 | Not connected |
| bOut2_B14 | Not connected |
| bOut2_B15 | Not connected |

Kuva 18. Lenze Motec 8400 taajuusmuuttajan vastaanottamien ja lähettämien tietojen merkitystä voi muuttaa Lenze Engineering ohjelmassa.



Kuva 19. Digitaaliterminaalien konfigurointivalikko Engineering ohjelmassa

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Molempien valmistajien testilaitteet soveltuivat mekaanisesti kiinnitettäväksi kuljettimiin, eikä kummankaan kohdalla ollut tarvetta tehdä suuria muokkauksia itse kuljetinjärjestelmän rakenteisiin. Testattaessa liitäntöjen paikat eivät aiheuttaneet ongelmia syöttöjen, antureiden tai väylien kytkennässä, mutta huomion arvioista on, että Nordin kokoonpanossa taajuusmuuttajan alareuna on hieman ylempänä kuin Lenzen laitteessa (Liite 1). Taajuusmuuttajan ja alapuolella olevan tason väliin jäävä lisätila helpottaa taajuusmuuttajan alapuolisten liitäntöjen kytkemistä ja mahdollisia asennuksen jälkeen tehtäviä huoltotoimenpiteitä, kuten siivoamista. Nordac SK180E kuitenkin työnny hieman ulommas kuljettimesta sivusuunnassa, vaati enemmän tilaa kuljettimen ja esimerkiksi seinän tai turva-aidan väliin. Ulkoisesti Lenzen kokoonpano on sirompi siinä käytetyn MF moottorin ansiosta ja ulkonäöllisesti Motec 8400 vaikuttaa viimeistellymmältä kokonaisuudelta.

Motec 8400:n ja SK180E:n käyttöönotot sujuivat pienellä perehtymisellä jouhevasti ja valmistajien sivuilta löytyvät dokumentit ja käyttöohjeet tarjosivat tarpeeksi tukea käyttöönottoprosessia varten. Kommunikaatioasetuksia lukuun ottamatta molemmat laitteet olivat tehtaalta saapuessaan toimintavalmiita eikä IP osoitteiden, Profinet -nimien tai käytettävien hallintamenetelmien asettaminen ollut kovinkaan haastavaa. Yhtenä selkeänä erona oli tarve asettaa fyysiset DIP kytkimet oikeaan asentoon SK180E taajuusmuuttajasta PLC:n parametrien kirjoitus- ja taajuusmuuttajan hallintaoikeuksia varten.

Konfigurointi ja hallintaohjelmistot erosivat toisistaan jonkin verran. Nordin ohjelmisto oli suoraviivainen ja osa asetuksista olikin yksinkertaisempi löytää ja ymmärtää Nordcon ohjelmassa. Lenzen Engineering taas vaikutti monipuolisemmalta ja tarjosi mahdollisuuden yksityiskohtaisempiin asetuksiin, mutta osaa asetuksista, joita työssä tarvittiin, oli aluksi hieman hankalampi löytää. Työn loppua kohti mentäessä Lenzen ohjelman käyttöliittymä kuitenkin osoittautui mielekkäämmäksi ja selkeämmäksi näistä kahdesta. Myös molempiin ohjelmiin oli valmistajien sivuilta saatavilla kattavat käyttöohjeet. Kaiken kaikkiaan molemmat ohjelmat tukivat käyttöönottoa ja parametointia hyvin: parametrien muuttaminen kävi pääasiassa kätevästi ja niiden lataaminen

PC:ltä taajuusmuuttajaan ja toisin päin oli sujuvaa ja parametrisarjat oli mahdollista tallentaa tietokoneelle myöhempää käyttöä varten. Erityisesti Nordin SK PAR-3H parametrintietyksikön tarjoama mahdollisuus viiden eri parametrisarjan kopioimiseen osoittautui näppäräksi ja sen avulla laitteiden parametrit voitaisiin asettaa helposti ja nopeasti jo ennen väylään kytkemistä.

Molempien valmistajien tarjoamat esimerkkilohkot osoittautuivat toimiviksi ja niillä sai kokeiltua kaiken tarpeellisen työn tavoitteita ajatellen. Aivan täydellisiä ne eivät kuitenkaan olleet huomioiden laitteiden varsinaiset käyttötarkoitukset. Niin Lenzen kuin myös Nordinkin esimerkkilohkot olivat kuitenkin hyvin kommentoituja ja niistä sai työn aikana hyvän kuvan siitä, miten ja mihin tieto PLC:n ja taajuusmuuttajan välillä kulkee. Esimerkkilohkot toimivatkin varmasti hyvänä pohjana ja helpottavat omien kommunikointi- ja ohjauslohkojen rakentamista.

Profinet -moduulit toimivat molemmissa testilaitteissa toivotun mukaisesti koko testauksen ajan, eikä yhteyshäiriöitä havaittu. Molemmat taajuusmuuttajat olivat varustettu diagnostiikkaledeillä ja näistä Lenzen ledit olivat hieman kattavammat ja helpommin havaittavat kuin Nordin. Digitaaliset tulot ja virhekoodit oli mahdollista lukea toivotusti väylän kautta ja digitaalisten lähtöjen ohjaus onnistui myös vaivattomasti.

Molemmat testiin valituista laitteista olivat hankintahinnaltaan kustannustehokkaampia kuin nykyinen ratkaisu ja suoriutuivat opinnäytetyön aikana tehdyistä testauksista hyvin. Myös molempien laitteiden käyttökokemukset olivat kaiken kaikkiaan positiiviset, eikä kriittisiä ongelmia, vikoja tai ominaisuuksien puutteita havaittu. Tähänastisen testauksen perusteella molemmat laitteet ovat siis kelvollisia toimimaan Cimcorpin niille tarkoittamassa tehtävässä.

8 LOPPUSANAT

Opinnäytetyön aikana sain perehtyä moniin uusiin asioihin ja vahvistaa omaa osaamistani niin tekniikan kuin työelämässä toimimisenkin saralla. Taajuusmuuttajat olivat itselleni etukäteen suhteellisen tuntemattomia ja ainoastaan niiden toimintaperiaate ja käyttötarkoitus olivat tuttuja asioita. Työn aikana taajuusmuuttajat tulivat kunnolla tutuiksi ja opein paljon siitä, millaisia ominaisuuksia kuljetinjärjestelmän taajuusmuuttajilta ja vaihdemoottoreilta vaaditaan. Selvitystyö asetettujen vaatimuksien merkityksestä hahmotti hyvin sitä, miksi laitteiden ominaisuudet on syytä selvittää tarkkaan ennen niiden hankintaa. Laitekohtaisten tietojen selvittäminen oli välillä haastavaa tarjolla olevan materiaalin runsauden vuoksi ja huomasin, että löydettyyn tietoon kannattaa suhtautua kriittisesti ja varmistaa tiedot mielellään toisestakin lähteestä ennen jopot päätöksiin hyppäämistä. Käyttöönottotestaus taas havainnollisti sen, miten erilaista samalla periaatteella toimivien, mutta eri valmistajien toimittamien laitteiden käyttöönotto on ja miten valmistajien tekemät päätökset vaikuttavat suoraan laitteita käyttäviin tahoihin.

Opinnäytetyön tekeminen työn ohessa tarjosi hyvän mahdollisuuden hyödyntää yrityksen resursseja, joista merkittävimpiä olivat olemassa oleva tietotaito ja kokemus. Sainkin todella paljon apua erilaisissa ongelmatilanteissa ja moni itseäni askarruttanut asia selvisi nopeasti neuvoa kysymällä. Työtä tehdessä tulin myös tutustuneeksi yrityksen käytäntöihin ja sain hyvän kuvan esimerkiksi siitä, miten hankintapäätökset etenevät ja mitä projektitapaamiset pitävät sisällään. Opinnäytetyön myötä tutustuin myös uusiin työkavereihin ja sain paremman käsityksen siitä, mitä ja minkälaisia asioita eri osastoilla tehdään, ja siitä mistä suunnasta missäkin tilanteessa kannattaa kysyä apua.

Opinnäytetyön tekeminen työn ohessa toi mukanaan myös haasteita. Aikataulujen päällekkäisyys muiden työtehtävien kanssa aiheutti viivästyksiä ja työn tekeminen venyi pidemmälle aikavälille kuin mitä alun perin oli suunniteltu. Työ saatiin kuitenkin päätökseen ja sille asetetut tavoitteet saavutettiin. Työn jälkeen laitetestausta on tarkoitus jatkaa laajamittaisemmilla testauksilla.

LÄHTEET

Ahoranta, J. 2017. Sähkötekniikka. 15.-16. p. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

AutomationDirect. 2019. Motion control explained. Viitattu 3.9.2019. <https://library.automationdirect.com/motion-control-explained/>

Bernier, C. 2016. What's the difference between digital and analog I/O? Viitattu 6.9.2019. <https://dof.robotiq.com/discussion/123/whats-the-difference-between-digital-and-analog-i-o>

Danfoss. 2019. Mikä on taajuusmuuttaja? Viitattu 3.9.2019. <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>

Ethercat Tecnology Group. 2019. Ethercat – the Ethernet fieldbus. Viitattu 1.10.2019. <https://www.ethercat.org/en/technology.html>

Getriebebau Nord. 2020a. Nordac Base (SK 180E / SK 190E). Viitattu 19.4.2020. https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/BU0180_EN_4118_screen.pdf

Getriebebau Nord. 2020b. SK CU4-PNT. Viitattu 15.4.2020. https://www.nord.com/cms/media/documents/datasheets/TI_275271015_SK_CU4-PNT_EN_4217_screen.pdf

Holmström T. 2019. Account Manager, Lenze. Ulvila. Henkilökohtainen tiedonanto 29.8.2019.

Kauppila, J., Tiainen, E. & Ylinen, T. 2010. Sähköasennukset 3. 2. p. Espoo: Sähköinfo Oy.

Lenze Drives GmbH. 2012. Inverter Drives 8400 motec. Viitattu 21.9.2019. http://download.lenze.com/TD/Inverter%20Drives%208400%20motec__v1-0__EN.pdf

Lenze Drives GmbH. 2019. 8400 Motec. Viitattu 19.4.2020. http://download.lenze.com/TD/E84DGxx__8400%20motec__v9-0__EN.pdf

Linder, A. 2014. Centralized or Decentralized. Viitattu 25.9.2019. <https://www.automation.com/automation-news/article/centralized-or-decentralized>

ODVA. 2019. Ethernet/IP. Viitattu 3.9.2019. <https://www.odva.org/Technology-Standards/EtherNet-IP/Overview>

Phoenix Contact. 2019. Viitattu 6.9.2019. <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=1442832&library=usen&pck=P-18-01-01&tab=1&selectedCategory=ALL>

Rockwell Automation. 2012. ArmorStart LT Distributed Motor Controller. Viitattu 20.4.2020. https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/290e-um001_-en-p.pdf

Rockwell Automation. 2019. ArmorStart 294 LT. Viitattu 20.9.2019. https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/multi_media/documents/multimedia/files/virtualbrochure/armorstart/demo/LT294/index.html

SFS. 2019. CE-merkintä. Viitattu 3.9.2019. https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/ce-merkinta

SICK. 2020. Viitattu 20.4.2020. <https://cdn.sick.com/media/895/7/27/327/IM0052327.png>

Siemens AG. 2016. Distributed inverters for SIMOGEAR geared motors. Viitattu 19.4.2020. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:84549846-6895-434d-89f0-1ea96ddfebae/version:1568040758/sinamics-g110m-brochure.pdf>

Siemens AG. 2018. Sinamics G110M Distributed convertor for Simogear geared motors, Operating Instructions. Viitattu 19.4.2020. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109757512/converter-sinamics-g110m?dti=0&pnid=13216&lc=en-WW>

Siemens AG. 2019a. Profinet. Viitattu 3.9.2019. http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen_tiedon-siirto_esim_Profinet/Profinet.htm

Siemens AG. 2019b. Safe Torque Off. Viitattu 3.9.2019. <https://www.industry.siemens.com/topics/global/en/safety-integrated/machine-safety/product-portfolio/drive-technology/safety-functions/pages/safe-torque-off.aspx>

STEK. 2019. IP-luokitus. Viitattu 3.9.2019. <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>

VFDs. 2019. What is VFD, How it works? - VFD working principle. Viitattu 4.9.2019. <http://www.vfds.org/what-is-vfd-how-it-works-964803.html>