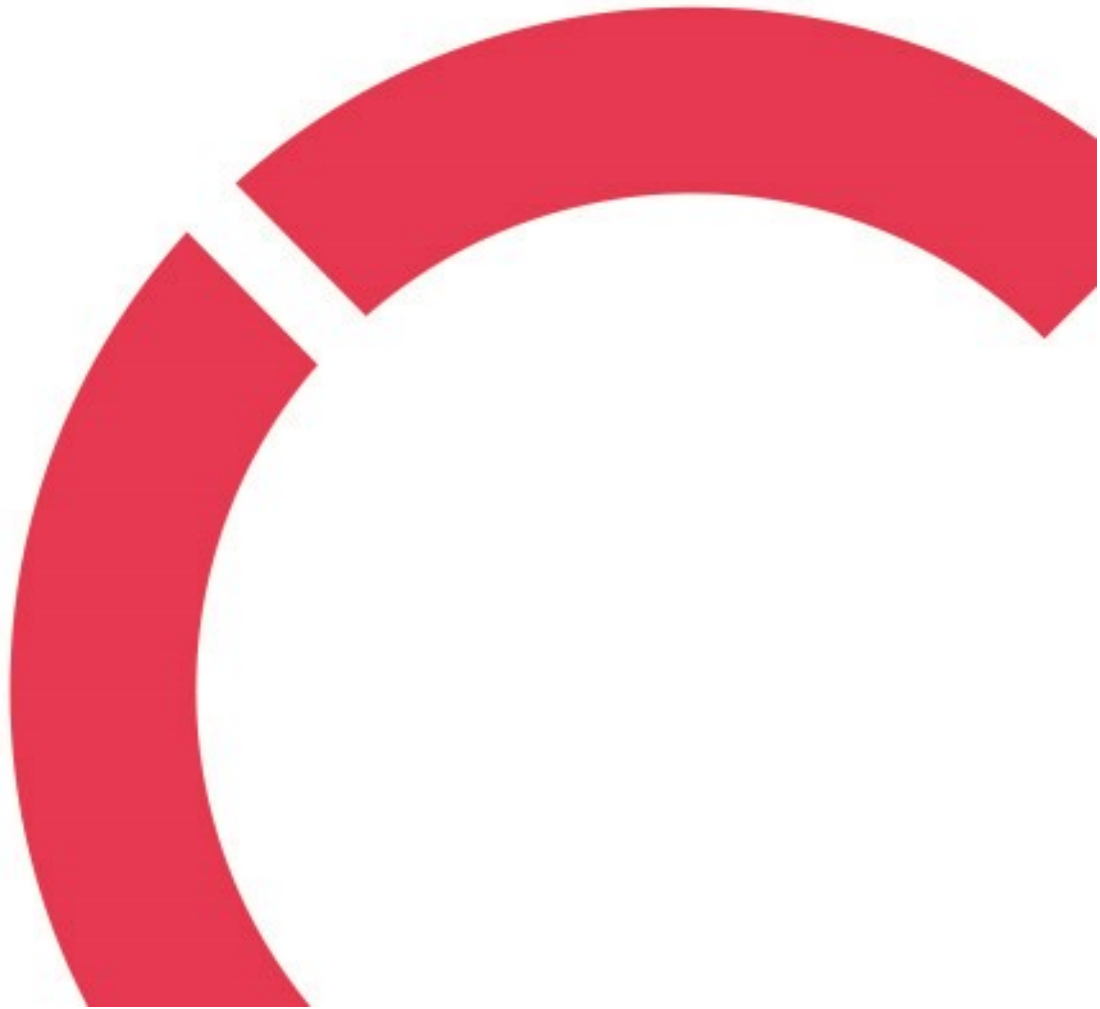


**Jere Kinnunen**

**VALTA-AKSELIKONEEN MODERNISOINTI**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkö- ja automaatiokoulutus  
Helmikuu 2023**



<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> Huhtikuu 2023	<b>Tekijä</b> Jere Kinnunen
<b>Koulutus</b> Sähkö- ja automaatiokoulutus		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
<b>Työn nimi</b> VALTA-AKSELIKONEEN MODERNISOINTI		
<b>Työn ohjaaja</b> Hannu Ala-Pönttiö		<b>Sivumäärä</b> 38+2
<b>Työelämäohjaaja</b> Pasi Kiuru		
<p>Tässä opinnäytetyössä tutustutaan servomoottoreihin, niiden mitoittamiseen sekä ohjelmointiin. Työn tarkoituksena oli suunnitella muutostyö valta-akselia käyttävään koneeseen niin, että koneesta saadaan turvallisempi sekä käyttäjäystävällisempi. Kyseessä on jalostuskone, joka halkoo, taittelee ja pakkaa paperia. Koneessa hyödynnettiin aikaisemmin valta-akselia, jolta voima siirrettiin kahdelle säädettävälle variaattorille ja näiltä edelleen eteenpäin. Tarkoituksena oli selvittää variaattoreiden ja muun koneen toiminta sekä suunnitella variaattoreiden tilalle sähkömoottorit.</p> <p>Koneen muutostyötä lähdettiin toteuttamaan ennen kaikkea koneen turvallistamista ajatellen. Koneessa oli edelleen vanhasta turvallistamisesta huolimatta kaksi säätöä, joita jouduttiin säätämään koneen käydessä. Koneeseen tehtävällä muutoksella on tarkoitus päästä eroon näistä turvallisuusriskeistä.</p> <p>Työ aloitettiin koneeseen tutustumalla ja tarpeellisia mittauksia tekemällä. Tämän jälkeen pystyttiin luomaan kuvaa mahdollisista muutoksista. Moottoreissa päädyttiin servomoottoreihin ja ne mitoitettiin TIA Selection Tool -sovellusta hyödyntämällä.</p> <p>Koneen toiminta saatiin selvitettyä ja koneesta saatiin mitattua sekä arvioitua tarvittavat moottoreihin vaikuttavat rakenteet ja mitat. Tämän jälkeen koneeseen pystyttiin mitoittamaan sopivat moottorit, jotka on mahdollista ohjelmoida vastaamaan koneelta odotettuja tarpeita.</p>		
<b>Asiasanat</b> TIA Portal, TIA Selection Tool, servo, valta-akseli		

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> April 2023	<b>Author</b> Jere Kinnunen
<b>Degree programme</b> Electricity and automation Engineering		
<b>Name of thesis</b> MODERNIZATION OF THE POWER AXIS MACHINE		
<b>Centria supervisor</b> Hannu Ala-pöntiö	<b>Pages</b> 38+2	
<b>Instructor representing commissioning institution or company</b> Pasi Kiuru		
<p>This thesis introduces servo motors, their sizing and programming. The purpose of the thesis was to design a modification to a machine that uses a power axis, so that the machine becomes safer and more user-friendly. It is a machine that chops, folds and packages paper. The machine previously used a power axis, from which power was transferred to two adjustable variators and from these to the front. Aim of the thesis was to find out how the variators and the rest of the machine worked and to design electric motors to replace them.</p> <p>The modification of the machine was undertaken primarily with a view to making the machine safer. Despite the old safety system, the machine still had two controls which had to be adjusted when the machine was running. The purpose of this modification was to eliminate these safety risks.</p> <p>The work started with an inspection of the machine and the necessary measurements. It was then possible to compile a picture of the possible modifications. Servo motors were chosen and sized using the TIA Selection Tool.</p> <p>The operation of the machine was clarified and the necessary structures and dimensions affecting the motors were measured and evaluated. It was then possible to size the machine with the appropriate motors, which could be programmed to meet the expected needs of the machine.</p>		
<b>Key words</b> TIA Portal, TIA Selection Tool, servo, power axis		

## **KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**

### **RPM**

(Revolutions Per Minute) joka suomennettuna tarkoittaa kierrosta minuutissa.

### **TIA**

(Totally Integrated Automation) joka suomennettuna tarkoittaa täysin integroitu automaatio.

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 TYÖSSÄ KÄYTETYT OHJELMISTOT .....</b>	<b>2</b>
2.1 Microsoft Excel.....	2
2.2 TIA Selection Tool.....	2
2.3 TIA Portal.....	3
<b>3 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄÄ TEKNIKKAA .....</b>	<b>4</b>
3.1 Servot.....	4
3.1.1 Pyörimisnopeus .....	4
3.1.2 Asennonvalvonta .....	4
3.1.3 DC-servomoottori.....	4
3.1.4 AC-servomoottori.....	5
3.1.5 Servovahvistimet .....	5
3.2 Väylätekniikka.....	6
3.2.1 RT/IRT PROFINET .....	6
3.2.2 DRIVE-CLiQ.....	6
<b>4 APEX AUTOMATION OY .....</b>	<b>8</b>
<b>5 KONEEN TOIMINNAN SELVITYS .....</b>	<b>9</b>
5.1 Silmämääräinen toiminnan määrittely .....	9
5.2 Mittaukset .....	14
5.2.1 Momentti.....	14
5.2.2 Pyörimisnopeus .....	16
5.2.3 Teho .....	17
5.2.4 Inertiat.....	17
5.2.5 Inertiasuhde.....	19
5.2.6 Moottoreiden ominaisuudet .....	20
<b>6 TEKNOLOGIOIDEN VALINTA .....</b>	<b>21</b>
6.1 Taajuusmuuttaja .....	21
6.2 Moottorin valinta .....	21
6.3 Moottoreiden mitoitus .....	22
6.4 PLC.....	25
6.4.1 Turvalogiikka .....	25
6.4.2 Teknologia PLC.....	25
<b>7 OHJELMOINTI .....</b>	<b>27</b>
7.1 Motion Control.....	27
7.2 DCC .....	30
<b>8 POHDINTA .....</b>	<b>36</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>37</b>

## **LIITTEET**

Liite 1. Moottorin datalehti

### **KUVIOT**

KUVIO 1. Jako-osassa käytetyt arvot.....	23
KUVIO 2. Katkaisulla käytetyt arvot .....	23
KUVIO 3. Kuvaaja paperin jako.....	24
KUVIO 4. Kuvaaja katkaisu .....	24

### **KUVAT**

KUVA 1. Havainnekuva paperin katkaisu osasta ennen muutosta.....	10
KUVA 2. Havainnekuva paperin katkaisu osasta muutoksen jälkeen.....	11
KUVA 3. Havainnekuva paperin jako osasta ennen muutosta .....	12
KUVA 4. Havainnekuva paperin jako osasta muutoksen jälkeen .....	13
KUVA 5. Motion Control Power -lohko .....	28
KUVA 6. Motion Control Gearin -lohko.....	28
KUVA 7. Motion Control Reset -lohko.....	29
KUVA 8. Motion Control Movejog -lohko. ....	30
KUVA 9. TIA Portal SinaSpeed -lohko.....	32
KUVA 10. TIA Portal LMCSINA-SpeedLeadingAxis -lohko.....	33
KUVA 11. TIA Portal SynchronismFB -lohko .....	34
KUVA 12. TIA Portal LMCSINA_VirtualLeadingAxis -lohko .....	35

### **TAULUKOT**

TAULUKKO 1. Akseleiden pyörintänopeudet .....	16
---	----

## 1 JOHDANTO

Monessa tehtaassa käytetään vielä nykypäivänäkin vanhoja tai ehkä jopa alkuperäisiä koneita tuotannossa. Koneet on rakennettu kestäviksi, ja niitä on helppo korjata, joten siksi koko tuotantokoneen uusiminen ei usein ole edes vaihtoehto. Nykypäivään peilattuna vanhat koneet alkavat olla jopa hengen- vaarallisia, ja siksi koneita täytyy ajan mittaan hieman päivittää sekä turvallistaa.

Opinnäytetyössä esiintyvä kone on vanha jalostuskone, jossa on hyödynnetty valta-akselia koneen liikkeiden aikaan saamiseksi. Koneessa hyödynnetään voiman välittämisessä suurelta osin hihnavälitystä ja nopeudensäätöä hoidetaan kahdella variaattorilla, joiden säätö tapahtuu käsin mekaanisesti. Variaattoreita joudutaan säätämään koneen käydessä, mikä tekee koneen kanssa työskentelystä melko vaarallista ja on osasyynä saneeraustarpeeseen.

Jalostuskoneen modernisoinnin yhteydessä poistetaan kaksi variaattoria kokonaan, minkä jälkeen niiden tilalle asetetaan servomoottorit. Servomoottoreille otetaan nopeusarvot valta-akseliin asetettavasta pulssianturista. Tämän lisäksi servomoottoreiden nopeuksia tulee pystyä ohjaamaan erilliseltä päätteeltä koneen käynnin aikana.

Aikaisemmin tuotantoa ajaessa koneelle on täytynyt hakea sopivat säädöt niin sanotusti näppituntumalla. Tuotteen vaihtuessa ei ole ollut selkeää asentoa, johon variaattorit olisi täytynyt säätää. Tämä olisi ollut mahdotonta, koska säätö on tapahtunut käsin kahdesta pyöritettävästä vivusta variaattoreiden kyljistä. Muutostyön jälkeen on käyttöpaneelille mahdollista tallentaa ja asettaa juuri oikeat säädöt kummallekin moottorille sekä jokaiselle tuotannossa ajettavalle artikkelille. Tällä saadaan nopeutettua ja parannettua tuotantoa, koska ylimääräinen koneen säätö jää pois.

Moottoreiden mitoittamisen apuna käytetään TIA Selection Tool -ohjelmaa ja lopullinen ohjelmakoodi toteutetaan tulevaisuudessa TIA Portal -sovelluksen avulla.

Uusia moottoreita suunnitellessa täytyy ottaa huomioon myös vanhan koneen toiminta ja ennen kaikkea turvaominaisuudet. Täytyy huomioida, että koneessa on hätäpysäytys sekä pysäytyksiä esimerkiksi turvaovilla ja muilla antureilla. Näiden turvatoimintojen täytyy pystyä pysäyttämään myös muutoksen kohteena olevat koneen osat. Siksi koneen uuden ja vanhan logiikan välille on tarpeellista tehdä keskustelumahdollisuus.

## 2 TYÖSSÄ KÄYTETYT OHJELMISTOT

### 2.1 Microsoft Excel

Excel on Microsoftin kehittämä taulukkolaskentatyökalu, jonka toiminta perustuu soluihin. Soluihin voidaan luoda funktioita, niillä voidaan suorittaa laskutoimituksia ja niiden arvoista voidaan piirtää kuvia. (Microsoft.) Tässä työssä on hyödynnetty Exceliä mittaustulosten kokoamiseen, järjestämiseen sekä myöhemmässä vaiheessa laskentaan.

### 2.2 TIA Selection Tool

TIA Selection Tool on Siemensin ylläpitämä laitteiden valintaa sekä konfigurointia helpottava ohjelmisto erilaisia automaatioprojektien määrittelyjä varten. Siemens lupaa, että ohjelman avulla onnistuu luoda projekti ilman erityisosaamista ja luominen on nopeaa, helppoa sekä virheetöntä. Jotta ohjelman käyttö olisi käyttäjille mahdollisimman helppoa, on TIA Selection Toolin ja muiden järjestelmien, kuten TIA Portalin, välillä mahdollista tuoda ja viedä laitteistokokoonpanoja. Työskentely eri alustojen välillä tapahtuu joustavasti ja turvallisesti pilvipalvelun avulla. Ohjelma mahdollistaa myös konfigurointimahdollisuuksien testaamisen ja simuloinnin etukäteen. (TIA Selection Tool – quick, easy, smart configuration.)

Kun käyttäjä on saanut konfiguroinnit valmiiksi, on hänen mahdollista tilata projektiinsa tarvittavat tuotteet suoraan Siemens Industry Mall -sivuston kautta. Tämän mahdollistaa myös se, että ohjelmassa käytetyt komponentit ovat teknisesti ajan tasalla sekä ne vastaavat saatavissa olevia komponentteja. (TIA Selection Tool – quick, easy, smart configuration.)

TIA Selection Tool ja kaikki siihen sisältyvät toiminnot ovat ilmaisia ja ohjelmistoa on mahdollisuus käyttää työpöytäversiona tai verkossa selaimen kautta. Siemens tarjoaa myös lyhyitä opetusvideoita, jotka auttavat käyttäjää ohjelman käytön aloittamisessa tai mahdollisissa ongelmatilanteissa (TIA Selection Tool – quick, easy, smart configuration).

## 2.3 TIA Portal

TIA Portal on myös Siemensin kehittämä ohjelmointityökalu, joka auttaa automaatio suunnittelun teke- mistä. Ohjelma mahdollistaa kokonaisvaltaisen suunnittelun mekaniikasta sähkösuunnitteluun sekä au- tomaatioon. Siemens on tuonut samaan ohjelmaan logiikkojen, käyttöliittymien, turvaratkaisujen ohjel- moinnin ja käyttöjen suunnittelun. Nämä kaikki yhdessä tekevät TIA Portal -sovelluksesta todella kil- pailukykyisen ja monipuolisen ohjelmiston. TIA myös luottaa integroituihin turvallisuus- ja tietoturva- ratkaisuihin, joilla se varmistaa, että kaikki koneet ja laitteet ovat mahdollisimman turvallisia lisäänty- neestä liitettävyydestä sekä avoimista standardeista huolimatta. (Totally Integrated Automation Portal – Always ready for tomorrow.)

## 3 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄÄ TEKNIIKKAA

### 3.1 Servot

Servotekniikassa olennaisinta on käytetty takaisinkytkentä, joka tarkoittaa, että erilaisia saatuja mitaustuloksia kytketään takaisin järjestelmän alkupäähän. Näiden saatujen mittaustulosten avulla voidaan ohjata asentoa, nopeutta tai kiihtyvyyttä. (Johnsson & Kördel 2003, 10.)

#### 3.1.1 Pyörimisnopeus

Kun moottorilla halutaan säilyttää asetettu pyörimisnopeus, mitataan nopeus akselille asetetulta anturilta tai se saadaan laskennallisesti moottorin nimellisarvoista. Moottorin nopeutta säädetään takaisinkytkennän avulla, jolloin verrataan moottorin senhetkistä nopeutta ja asetusrvoa. Arvojen poiketessa toisistaan, moottorin nopeutta säädetään, kunnes arvot vastaavat toisiaan. (Kördel & Johnsson 2004, 50.)

#### 3.1.2 Asennonvalvonta

Servomoottoreissa sovelletaan samaa tekniikkaa, jota käytetään harjattomissakin moottoreissa. Harjattoman servomoottorin pyörimään saattaminen edellyttää, että staattorikäämit magnetoidaan tiettyssä järjestyksessä verrattuna roottorin kestopagneettien asemaan. Tämä hoidetaan käyntielektroniikkaa hyödyntämällä. Tästä saadaan nimitys roottorin asennonvalvonta. Roottorin pyörimistä seurataan magneettisesti tai optisesti ja tämä tieto lähetetään käyntielektroniikalle. Näin käyntielektroniikan on mahdollista pysyä selvillä roottorin asennosta. Käyntielektroniikka hoitaa staattorikäämien virran suuruuden sen mukaan, että staattorikäämit saadaan magnetoitumaan virheettömästi pyörintänopeuden sekä kuormituksen mukaan. (Kördel & Johnsson 2004, 53.)

#### 3.1.3 DC-servomoottori

DC-servomoottori eli tasavirtamoottori, joka on suunniteltu servokäyttöön, on varustettu kestopagneeteilla sekä roottoriin asetetuilla käämeillä. Kestomagneetit ovat pysyvästi magnetisoituja kappaleita ja ne on asennettu moottorin runkoon. Magneettien lukumäärä riippuu moottorin napojen lukumäärästä. Lisäksi niiden lukumäärä on aina sama. Moottorissa ei ole ollenkaan kenttäkäämistä, vaan staattorin

magneettikenttä tuotetaan rungossa olevien kestopagneettien avulla. Jotta moottori saadaan pyörimään, sille täytyy johtaa sähkövirtaa. Sähkövirta johdetaan roottorissa oleville käämeille hiiliharjojen ja kommutaattorin avulla. Moottoreissa, joissa käytetään kestopagneetteja, saavutetaan hyvä hyötysuhde, koska paljon virtaa kuluttavat ja lämpöä tuottavat kenttäkäämitykset on korvattu kestopagneeteilla. Kestomagnetoituissa servomoottoreissa vakiojännitteellä virta ja pyörimisnopeus ovat lineaarisessa suhteessa vääntömomenttiin. Tämä tekee moottoria koskevien laskelmien teon sekä mitoituksen helpommaksi. Kestomagneettiservomoottorit ovat vallitseva moottorityyppi pienissä alle 1 kW järjestelmissä. Suuremmissa teholuokissa moottorit tuottavat hyvästä hyötysuhteesta huolimatta jonkun verran lämpöä, ja ongelmaksi syntyykin lämmön johtaminen pois moottorin rakenteista. Tasavirtamoottoreista löytyy myös harjattomia servomoottoreita, jolloin kestopagneetit on sijoitettu staattorin sijasta roottoriin ja käämit päinvastoin staattoriin. Näin virtaa ei tarvitse johtaa pyörivään roottoriin ollenkaan, eikä kitkasta aiheutuvaa kulumaa tai lämpenemää aiheudu. (Johnsson & Kördel 2003, 21–23.)

### 3.1.4 AC-servomoottori

AC-servomoottori eli vaihtovirtaservomoottori on rakenteeltaan samantyyppinen kuin DC-servomoottori. Siinä roottorikäämitys saadaan aikaan roottoriin asetetuilla kestopagneeteilla, jolloin hiiliharjat voidaan jättää pois, koska roottoriin ei ole tarvetta johtaa sähkövirtaa. Moottorin rungossa olevia käämejä hyödynnetään niin, että vaihtovirralla niillä saadaan aikaan pyörivä magneettikenttä ja näin kestopagnetoitu roottori pyörii magneettikentän mukana. Ennakoiva huollon tarve on pientä, kun taas käyttömahdollisuudet suuret. Moottoreita löytyy yksi-, kaksi- ja kolmivaiheisina sekä käytettävä tehoalue on laaja. (Johnsson & Kördel 2003, 24.)

### 3.1.5 Servovahvistimet

Servovahvistinta käytetään servojärjestelmässä yhtenä komponenttina. Sen on tarkoitus vastaanottaa moottorinohjaimelta tuleva ohjaussignaali, jota se vahvistaa. Tämän avulla moottorille pystytään antamaan tietty määrä tehoa. Vahvistimia on useita erityyppisiä, mutta yksi yleinen vahvistin on momenttilan vahvistin. Esimerkiksi tämä vahvistin toimii niin, että se muuntaa komentosignaalin moottorille annettavan virran määräksi. Virta on itseasiassa suoraan verrannollinen moottorin vääntömomenttiin, eli vahvistin ohjaa moottorin momenttia. (Galil 2010.)

## 3.2 Väylätekniikka

Servoilla on monta erilaista väyläliitännämahdollisuutta ja liitäntä valitaan aina sovelluksen, laitteiden ja tarvittavien ominaisuuksien perusteella. Muutamaa väylätekniikkaa selitetään hieman tarkemmin alempana.

### 3.2.1 RT/IRT PROFINET

PROFINET on tiedonsiirtoprotokolla, jota käytetään tietojen toimittamiseen ohjainten ja laitteiden välillä. Väylä tarjoaa toimivuuden vaativissakin ympäristöissä sekä nopean vasteen ja hyvän tarkkuuden. PROFINET-verkko toimii tavallisilla Ethernet-liittimillä eikä siksi vaadi käyttöön mitään erikoisliittimiä. (Us.PROFINET.)

PROFINET-protokolla jakautuu vielä useampiin tiedonsiirtomahdollisuuksiin. PROFINET RT on perusversio, joka tarjoaa reaaliaikaisen tiedonsiirron sekä on suunniteltu nopeisiin ja kriittisiin sovelluksiin. IRT on puolestaan RT:tä kehittyneempi versio, joka mahdollistaa isokronisen reaaliaikaisen tiedonsiirron. IRT:n avulla on mahdollista saavuttaa tarkka synkronointi RT-väylää nopeammilla kiertoaajoilla. RT-väylää hyödynnetään esimerkiksi robotiikassa ja muissa tarkkuutta vaativissa kohteissa. Jotkin sovelluksista vaativat suurnopeusominaisuuksia, jolloin täytyy käyttää IRT-protokollaa. PROFINET RT:n avulla voidaan saavuttaa 512 millisekunnin tai jopa 250 mikrosekunnin kiertoaajat. IRT tarjoaa vielä nopeampaa kiertoaikaa, jopa 31,25  $\mu$ s vain 1  $\mu$ s viiveellä. (Us.PROFINET.)

### 3.2.2 DRIVE-CLiQ

DRIVE-CLiQ on Siemensin kehittämä tehokas liikkeenohjausjärjestelmä, joka mahdollistaa liikkeenohjauslaitteiden, kuten moottoreiden sekä antureiden liittämisen helposti ja joustavasti Siemensin automaatiojärjestelmiin (Siemens 2023). Liitännän avulla moottorin asento saadaan heti käynnistyksen yhteydessä, jolloin saavutetaan suurempi suorituskyky ja luotettavuus.

DRIVE-CLiQ on Ethernet-pohjainen protokolla, jonka avulla siirretään sijainti- ja nopeustietoja. Jokaiselta pyörähdysvaihteelta saadaan ainutkertainen koodi, minkä avulla muodostetaan tietoa akselin tarkasta sijainnista yksittäisen pyörähdyksen aikana sekä täysien kierrosten määrästä jatkuvan liikkeen aikana. (Leine & Linde AB, 2014.)

DRIVE-CLiQ mahdollistaa nopeaa tiedonsiirtoa ja jopa alle 10  $\mu$ s:n kiertajat (DRIVE CliQ).

DRIVE-CLiQin avulla pystytään hyödyntämään moottorin sähköistä tyyppikilpeä monin tavoin. Esimerkiksi moottorin asennuksen tai vaihdon aikana tyyppikilpi pystytään lukemaan suoraan DRIVE-CLiQ liitännän avulla. Tämän avulla moottorin asetukset saadaan ladattua ohjausjärjestelmään nopeasti ja oikein. Sähköistä tyyppikilpeä hyödynnetään myös silloin, kun ylläpidetään moottorin suorituskykyä ja turvallisuutta. Tyyppikilvestä saatavia tietoja ovat esimerkiksi moottorin huoltovälit, suurimmat sallitut nopeudet ja momentit sekä muut moottorin tekniset rajoitukset. Näiden tietojen avulla ohjausjärjestelmä kykenee varmistamaan moottorin turvallisen ja tehokkaan käytön.

#### 4 APEX AUTOMATION OY

Opinnäytetyön toimeksiantaja on kokkolalainen yritys nimeltään Apex Automation. Apex Automation on lähes kolmenkymmen vuoden kokemuksella toimiva automaatioalan yritys, jossa työskentelee tällä hetkellä hieman yli 50 työntekijää. Yritys on perustettu vuonna 1993, minkä jälkeen yritys onkin nousut merkittävimmäksi toimijaksi omalla toimialallaan. Yrityksen tavoite on parantaa asiakkaan tuotantokapasiteettia, kilpailukykyä sekä tuotteiden laatua tuottamalla asiakkaan tarpeisiin sopivat automaatio- ja sähköratkaisut. Apex Automation on solminut Siemensin kanssa Solution Partner -sopimuksen ja näin yritykset tiivistävät pitkään jatkunutta yhteistyötään entisestään. Yhteistyö takaa Siemens-tuotteiden laadukkaat ylläpitopalvelut. (Apex Automation Oy.)

## 5 KONEEN TOIMINNAN SELVITYS

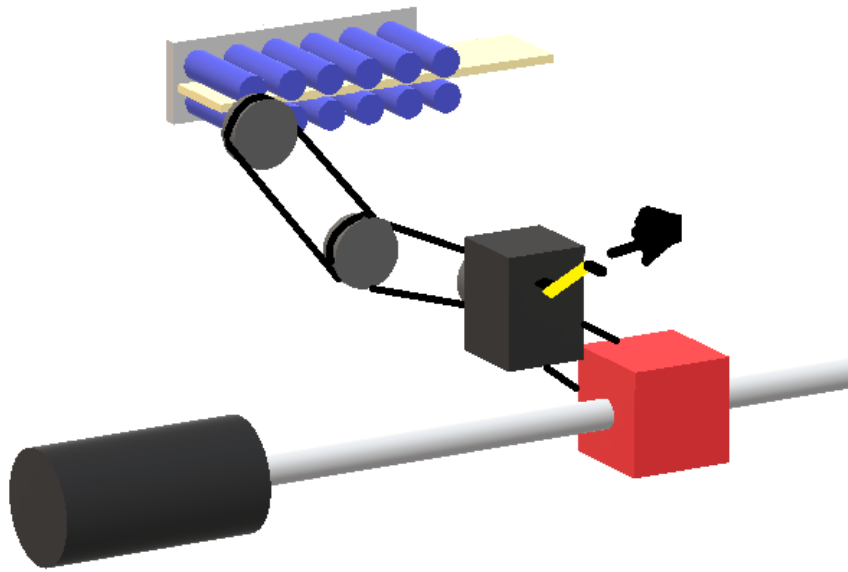
Jalostuskoneen toiminnasta ja muokattavista akseleista ei ollut työtä aloitettaessa tarkkaa tietoa, joten ensimmäiseksi täytyi mennä paikan päälle katsomaan ja selvittämään koneen toimintaa. Akselit, joihin muutostyö kohdistuu, kattavat vain pienen osan jalostuskoneen kokonaisuudesta. Kyseessä on ison paperirullan halkaisu viiteen osaan ja jokaisen halkaistun lohkon taittelu sekä paperinipun katkaisu. Opinnäytetyössä näistä käytetään nimiä paperin taittelu ja paperin katkaisu. Näin on helpompi määrittellä, kummasta käsiteltävänä olevasta laitteen osasta on kyse. Toiminnan selvitys lähti liikkeelle silmämääräisellä määrittelyllä ja koneen tarkastelulla. Tällä pääsi jo hyvin selville, mitä koneen eri osat alueet tekivät ja miten ne toimivat. Toiminnan selvittämisen jälkeen täytyi suorittaa tarvittavat mitaukset kummallekin akselistolle.

### 5.1 Silmämääräinen toiminnan määrittely

Alun perin voima näihin kahteen akseliin otettiin yhdeltä valta-akselilta, jota pyöritettiin 45 kW:n sähkömoottorilla. Valta-akseli pyöritti kulmavaihteita, joiden kautta pyörimisliike johdettiin edelleen hihnojen avulla variaattoreille ja näiltä edelleen halutuille rullille.

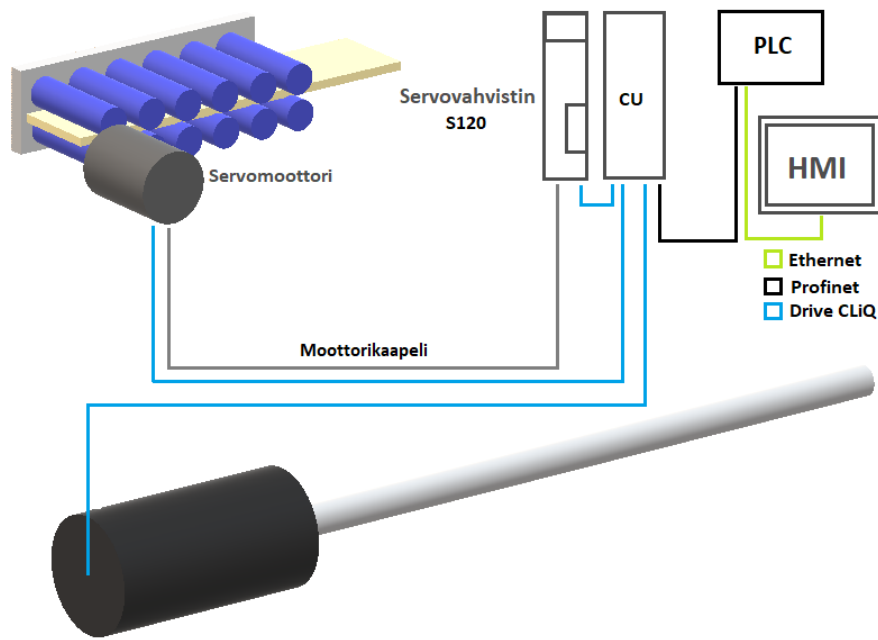
Kone on aikaisemmin turvallistettu pyörivien terien, hihnojen sekä hihojen katkeamisen varalta. Tällöin koneeseen on lisätty mekaanisia suojia, kuten verkkoja, peltejä sekä muovilasista valmistettuja suojia. Lisäksi koko koneen ympäri on rakennettu suoja-aita. Aidan toiselle puolelle kulku tapahtuu ovista, joiden avaaminen koneen käydessä pysäyttää koneen. Muokattavat kohteemme ovat turvallistamisen jäännösriskejä, joita ei ole voitu poistaa tarvittavien säätöjen vuoksi. Tämän tulevan muutostyön tarkoituksena on pienentää tai jopa poistaa nämä jäljelle jääneet turvallisuusriskit.

Kuvassa 1 on esitetty havainnekuva katkaisupuolen toiminnasta ennen muutostyöstä. Kuva 1 on piirretty 3D-piirtosovelluksella ja on siksi vain hieman käsitystä antava. Mustalta lieriöltä eli sähkömoottorilta voima johdettiin akselilla punaiselle laatikolle, joka kuvassa esittää kulmavaihdetta. Kulmavaihteelta voima johdettiin edelleen hihnan avulla variaattorille, joka kuvassa on tumman harmaana laatikkona. Käsin tapahtuva säätö tapahtui tämän variaattorin avulla, säätämällä variaattorin välitystä sen kyljessä olevasta kammesta. Tästä voima johdettiin edelleen usean hihnapyörän kautta rullille, joiden välissä paperi kulki kohti katkaisuterää. Paperirullat olivat toisesta päästä toisiinsa yhteydessä, eli niistä kaikki olivat vetäviä rullia.



KUVA 1. Havainnekuva paperin katkaisuosasta ennen muutosta

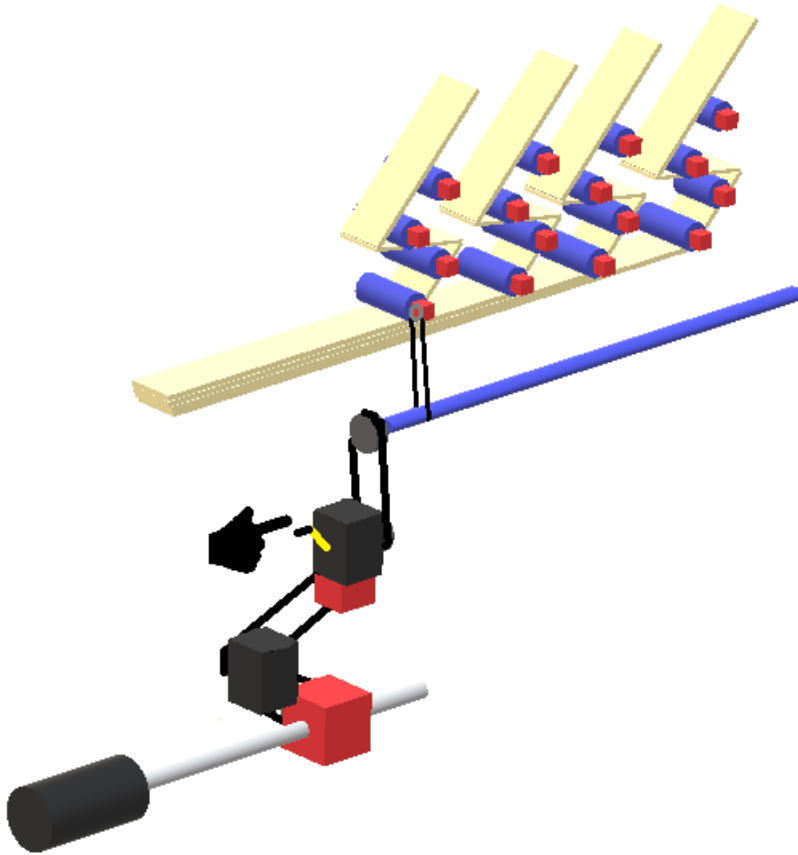
Muutostyön jälkeen tavoitteena on, että pyörivien hihnojen tai muiden koneen osien lähelle ei ole tarpeellista mennä koneen säädön vuoksi. Muutoksen jälkeen servomoottorin nopeudensäätö tapahtuu käyttöpaneelilta. Lisäksi muutostyön johdosta koneesta jäävät pois kulmavaihte, variaattori ja ylimääräiset hihnat, jolloin kone tulee näyttämään kuvan 2 havainnekuvan mukaiselta. Servomoottori, jota kuvassa esittää harmaa lieriö, asennetaan suoraan kiinni rullassa ennestään olevaan akseliin. Valta-akselin kierrosnopeutta seurataan pulssianturin avulla ja tämä välitetään PLC:lle. Saadun nopeusarvon avulla ohjataan servomoottoria. Näin akselin pyörimisnopeus ja servomoottorin nopeus saadaan pysymään edelleen yhteydessä, mikä taas mahdollistaa koko jalostuskoneen toiminnan vanhaan tapaan.



KUVA 2. Havainnekuva paperin katkaisuosasta muutoksen jälkeen

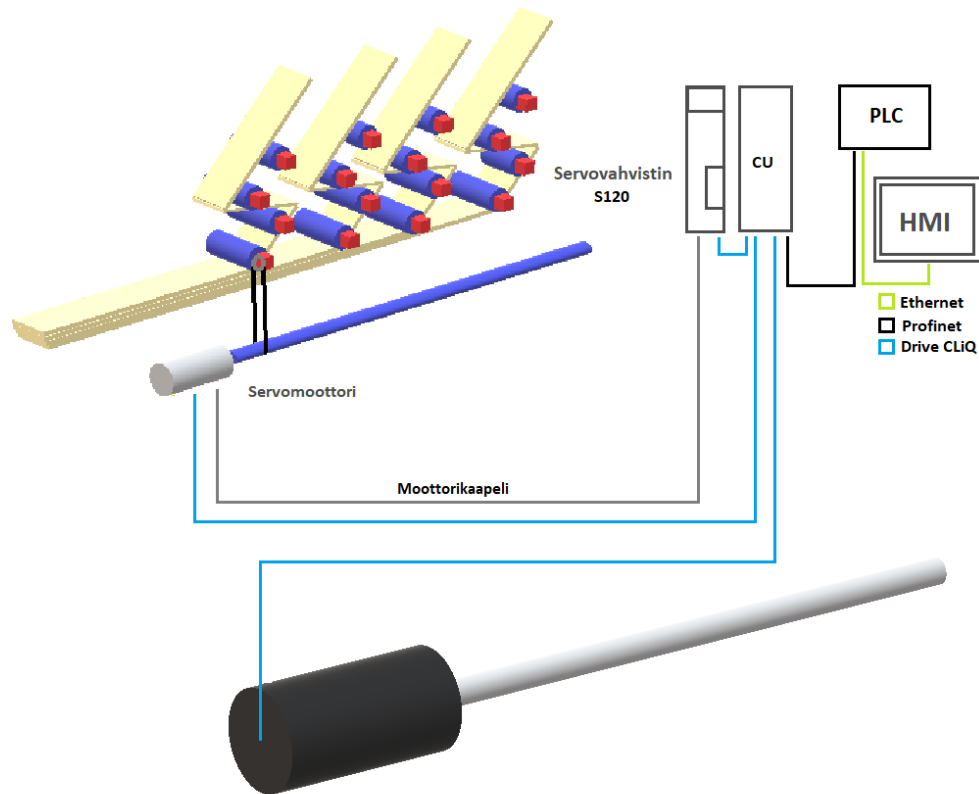
Paperin jakopuoli koneesta toimii niin, että paperi tulee isolta paperirullalta halkaistavaksi. Iso paperi halkaistaan pituussuunnassa viiteen osaan. Paperi tulee kuvan 3 mukaisesti ylhäältä, josta se johdetaan useiden rullien kautta niin, että se taittuu halutunlaiseksi. Tämän jälkeen viisi paperia ajetaan päällekkäin ja johdetaan sen jälkeen katkaisupuolen rullille.

Ennen muutosta paperin jakoon tarvittava voima otettiin alemmalta variaattorilta, eli samalta, jolta voima meni katkaisupuolen rullille. Alavariaattorilta tuleva voima johdettiin moniurahihnojen avulla kulmavaihteelle, joka oli kiinnitetty ylempään variaattoriin. Kuvassa 3 esitetyssä 3D-kuvassa kulmavaihte on esitetty punaisena laatikkona, joka on kiinni koneen ylemmässä variaattorissa. Ylempi musta laatikko eli ylempi variaattori oli myös käsin säädettävissä sen kyljessä olevasta säätökammesta ja mahdollisesti pelkästään paperin jaon säätämisen. Tämä ylempi variaattori pyöritti hihnojen sekä hihnapyörien avulla akselia, jolta voima oli johdettu edelleen hihnojen avulla rullille, jotka taas jakoivat, taittelivat ja niputtivat tulevan paperin. Kuvasta poiketen jokainen rulla oli yhdistetty vetävään akseliin, mutta selkeyttämisen vuoksi hihnat on jätetty kuvasta pois.



KUVA 3. Havainnekuva paperin jaon osasta muutosta ennen

Muutostyön jälkeen koneesta on tarkoitus poistaa kumpikin variaattori ja kulmavaihteet. Näin myös ylimääräiset hihnat jäävät pois, mikä lisää koneen turvallisuutta sekä vähentää huoltoa vaativia kohteita. Moottori asennetaan kuvan 4 mukaisesti suoraan kiinni akseliin, jolta veto on jaettu paperirullille. Servomoottorin nopeutta, joka kuvassa on harmaa lieriö, ohjataan myös PLC:n avulla. Tarvittava tieto PLC:lle saadaan valta-akseliin asennetulta pulssianturilta.



KUVA 4. Havainnekuva paperin jaon osasta muutoksen jälkeen

Havainnekuvia ei ole piirretty tarkkaan mittakaavaan, eivätkä ne kerro koneen tarkkaa rakennetta. Kuvista on esimerkiksi poistettu kaikki seinät sekä muut kiinnikkeet, joihin akselit, rullat ja variaattorit on kiinnitetty. Näin kuvista on saatu selkeämmät ja niistä on mahdollista saada hieman käsitystä laitteen toiminnasta.

Kuten kuvat kertovat, kone on muutostyön jälkeen tekniseltä toiminnaltaan huomattavasti yksinkertaisempi sekä turvallisempi kuin aikaisemmin. Tämän lisäksi koneen katkaisuosan ja paperinjaon säätäminen muuttuu aikaisempaa helpommaksi.

## 5.2 Mittaukset

Ennen varsinaisia paikan päällä tapahtuvia mittauksia, täytyi hahmotella koneen toimintaa ja päätellään mahdolliset mittauksia vaativat kohteet. Koneesta saatiin muutamia kuvia, joista oli mahdollista alkaa hahmottamaan koneen toimintaa. Kuvista oli myös mahdollista arvioida akselit, jotka tulisi mitata. Tämän lisäksi mitattaviin akseleihin täytyi päästä tarttumaan jollakin keinoin, jotta esimerkiksi momentit päästiin mittaamaan. Tätä varten täytyi hankkia työkaluja, joilla mittaukset oli mahdollista tehdä. Käytössämme olleiden kuvien perusteella hyvä mittauskeino olisi ollut suoraan hihnarullan päältä. Tähän tarkoitukseen hankittiin sopivan kokoinen suodatinavain, jonka saisi puristettua hihnarullaan kiinni. Suodatinavaimen saatiin kiinnitettyä hylsyavain, jossa oli viisarilla varustettu momenttiavain. Tällä päästiin mittaamaan tarvittavat momentit akseleista, joihin muutostyö kohdistuu.

Nykypäivänä rakennettavista koneista ja laitteista piirretään mittakuvat, joista saadaan selville suoraan kaikki meidän tarvitsemamme mittatiedot. Muutostyön kohteena oleva kone on kuitenkin niin vanha, ettei siitä ollut mittakuvia tai muutakaan informaatiota.

Mittaustuloksia varten muodostettiin valmiita Excel-taulukkoita, joihin olisi paikan päällä helppo kirjata tulokset. Taulukoiden täytyi olla laajennettavissa ja muokattavissa, koska lopullisten mittausten määrä selvisi vasta, kun päästiin fyysisen koneen luokse. Excelliin kerättyjen mittaustulosten perusteella oli helppo tehdä tarvittavat laskennat suoraan ohjelman sisällä.

Servomoottoreiden mitoittamista varten tarvittiin kummankin variaattorin perässä olevan momentin suuruus, akselin tai akseleiden pyörimisnopeudet sekä akseliin kohdistuva hitausmomentti eli inertia.

### 5.2.1 Momentti

Mekaniikassa voiman momentin suuruus tulee kaavasta:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (1)$$

Kaavassa M on voiman momentin suuruus, joka saadaan akselin välisen etäisyyden r sekä voiman F ristitulona. Tällöin yksiköksi saadaan Newtonmetri (Nm) (Tekniikan kaavasto 2019, 93).

Katkaisupuolen momentti oli erittäin haastava mitata, sillä paperi kulkee päällekkäin olevien teräsrullien välistä ja rullien väliä pienennetään konetta ajaessa aina tarvittaessa. Näin ollen myös rullien aiheuttama momentti muuttuu eikä arvo ole aina sama. Tämän lisäksi rullia ei ollut mahdollista pyörittää käsin siten, että paperi olisi ollut rullien välissä, joten momentin mittaamiseen jouduttiin käyttämään kokemukseen perustuvaa arviota. Vanha kone jaksoi katkaista viiden paperin nipusta päällimmäisen suoraan vetämällä. Tämän tiedon pohjalta kyseiseen paperiin kiinnitettiin molemmin puolin leveät puristimet, joita lähdettiin digitaalisella vaa'alla vetämään kauemmaksi toisistaan. Tämä mittaus suoritettiin muutamia kertoja, jotta saatua tulosta voidaan pitää luotettavampana. Saaduista mittaustuloksista valittiin vielä suurin arvo, jotta laskettu tulos ei ainakaan jäisi liian pieneksi. Saadun voiman ja paperirullan halkaisijan perusteella saadaan laskettua paperin katkaisemiseen tarvittava momentti. Tämä saatu momentin arvo on luultavasti tarvittavaa voimaa suurempi, mutta tarkempien mittaustulosten puuttuessa moottori mitoitetaan tämän arvon perusteella. Laakereiden synnyttämät kitkahäviöt arvioitiin niin pieniksi, ettei niitä ole huomioitu mitoituksessa.

Yhden rullan halkaisija on 16,6 cm, joten vipuvarreksi saadaan rullan säde, joka on 8,3 cm. Voima, joka yhden paperin katkaisuun tarvitaan, liikkuu 9 ja 12 kilogramman välillä. Jotta mitoitus ei jäisi ainakaan liian pieneksi, käytetään tästäkin laskennassa suurinta saatua arvoa.

Näin tulokseksi saadaan:

$$M = 0,083 \text{ m} * 12 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,8 \text{ Nm} \quad (2)$$

Paperinjakoon käytettävän akselin momentin mittaaminen olikin hieman yksinkertaisempaa, kun akselia päästiin pyörittämään kuormitettuna ja mittamaan pyörähdykseen tarvittava voima. Mukaan otetulla suodatinavaimella ei päästy kiinni hihnarullaan, joten mittaukseen jouduttiin miettimään jokin toinen keino. Siirtoleukapihdit puristettiin kiinni pyöritettävään akseliin ja pihdit lukittiin nippusiteiden avulla. Tämän jälkeen pihtejä lähdettiin vetämään vaa'an avulla ennalta mitatun etäisyyden päästä akselistä. Näin saatiin selville pyörähdykseen tarvittava voima. Lisäksi tiedettiin vipuvarren pituus, jonka pihdit ja vaaka muodostivat. Mittauksessa käytettävän varren pituus oli 30 cm ja pyörittämiseen tarvittava voima oli 7 kg. Pyörittämiseen tarvittava voima mitattiin akselistä juuri, kun se pyörähti liikkeelle. Näin saatiin mitattua suurin voima, joka akselin pyörittämiseen tarvitaan. Sitä, että liikkeellelähtöön tarvitaan tässä tapauksessa suurin voima, ei päästy koneesta suoraan todistamaan, koska akselin pyörittäminen ja samaan aikaan tarvittavan voiman mittaaminen oli käytännössä mahdotonta. Tapauksessa luotetaan teoriaan, että lepokitkan voittaminen vaati suuremman voiman liikekitkan voittamiseen verrattuna.

Mitatuista arvoista momentiksi saadaan tulos:

$$M = 0,3 \text{ m} * 7 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 20,6 \text{ Nm} \quad (3)$$

### 5.2.2 Pyörimisnopeus

Momentin lisäksi koneesta täytyi saada selville vielä akseleiden pyörimisnopeudet, jotka mitattiin Ex-tech RPM10 -mittarilla. Mittarin toiminta perustuu akseliin asetettuihin heijastinteipin palasiin, joista mittarin lähettämä säde heijastuu takaisin. Näin mittari pystyy mittaamaan akselin pyörähdyskerrat minuutin aikana.

Pyörimisnopeuksia mitattiin muutamilla eri koneen käynti nopeuksilla, jotta nähtiin akseleiden nopeuksien ääripäät ja koneen toiminta eri nopeuksilla. Tämän avulla pystytään mitoittamaan moottorit, jotka vastaavat nopeuksien tarpeisiin mahdollisimman hyvin. Kummankin akselin nopeutta oli mahdollista säätää omalta variaattorilta. Alavariaattori säätö sekä paperinkatkaisu että paperinjako linjastoa, kun taas ylävariaattori säätö pelkästään paperinjako linjastoa. Pelkän ylemmän variaattorin säätö vaikutti siihen, että akseleiden pyörimisnopeuksien suhde muuttui säädön seurauksena. Akseleiden suhteen säädöllä linjasto saatiin kulkemaan paperilajikkeen vaatimusten mukaisesti. Muutostyön jälkeen tämä säätö on mahdollista tehdä ohjainpaneelilta ilman tarvetta mennä turva-aidan sisälle tai vaarallisen lähelle pyöriviä hihnoja tai laitteita.

Taulukossa 1 on valta-akselin sekä katkaisupuolen ja paperinjaon nopeuksista.

TAULUKKO 1. Akseleiden pyörintänopeudet

Akseleiden pyörintänopeudet						
				Alavariaattori nopeimmalla		
	Ryömintänopeus	Normaali ajonopeus	Alavariaattori hitaimmalla		Ylävariaattori hitaimmalla	Ylävariaattori nopeimmalla
Valta-akseli	40	760	763	762	764	764
Katkaisu	56	1063	950	1181	1181	1181
Paperinjako	58	1099	987	1223	894	1740

Moottorin tehon laskemisessa sekä moottorin mitoituksessa käytettiin kummastakin akselista suurinta mahdollista pyörimisnopeutta, jotta moottori riittää pyörittämään konetta myös maksiminopeudella.

### 5.2.3 Teho

Momenttien ja saatujen pyörimisnopeuksien avulla pystyttiin laskemaan myös moottoreiden tehot, jotka tulevat kaavasta:

$$P = M * \omega \quad (4)$$

Jossa M kuvaa momenttia ja  $\omega$  kulmanopeutta. Kaavassa omega tulee kaavan 5 perusteella:

$$\omega = \frac{\text{rpm} * 2\pi}{60} \quad (5)$$

missä rpm on kierrosnopeutta minuutissa. (Tekniikan kaavasto 2019, 92, 93).

Näin paperin katkaisuun tarvittavan moottorin tehoksi saadaan:

$$P = 9,8 \text{ Nm} * \frac{1181 \text{ rpm} * 2\pi}{60} = 1208 \text{ W} \quad (6)$$

Ja paperin jakoon tarvittava moottorin teho on:

$$P = 20,6 \text{ Nm} * \frac{1740 \text{ rpm} * 2\pi}{60} = 3754 \text{ W} \quad (7)$$

### 5.2.4 Inertiat

Hitausmomentin ja pyörimisen peruslain mukaan etenemisliikkeessä olevaan kappaleeseen kohdistuvan kokonaisvoiman sekä kiihtyvyyden suhde säilyy vakiona, vaikka kokonaisvoimaa muutettaisiin. Tästä suhteen arvosta saadaan kappaleelle ominainen vakio, jota kutsutaan massaksi. Massa kuvaa kykyä vastustaa kappaleen etenemisliikkeen muutosta. Jos kappale pyörii akselin A ympäri, siihen kohdistuu vääntömomentteja, joiden summaa kutsutaan kokonaisvääntömomentiksi. Voidaan todistaa, että pyörivän kappaleen kulmakihtyvyyden ja kokonaisvääntömomentin suhde on myös vakio, jonka arvo vaihtuu kappaleesta ja valitusta akselista riippuen. Tämä kuvaa kappaleen kykyä vastustaa pyörimisliikkeen muutosta. Tämä vakiosuhde, jota etenemisliikkeen tapauksessa kutsutaan massaksi, on saanut pyörimisliikkeen tapauksessa nimekseen hitausmomentti. Kappale, joka pyörii akselin A suhteen saa hitausmomentin  $J_A$ . (Suvanto 2018, 236.)

Momentin ja pyörimisnopeuden lisäksi muutostyön kohteena olevasta koneesta laskettiin muokattaviin akseleihin kohdistuvat hitausmomentit eli inertiat. Lasketut inertiat vaikuttavat myös tulevien moottoreiden valintaan, koska hitausmomentin aiheuttamat voimat nopeuden muutoksissa on otettava huomioon.

Hitausmomenttien laskemista varten akseleista täytyi saada fyysiset mitat. Nämä mitat saatiin mitattua rullamitan ja työntömitan avulla. Mittausta ja kappaleita arvioitaessa olisi ollut helpompaa, jos olisimme pystyneet irrottamaan koneesta mitattavan kappaleen. Tämä osoittautui kuitenkin niin vaikeaksi, että mittaukset oli suoritettava akseleiden ja rullien ollessa koneessa paikallaan. Vaikka rullat saatiin mitattua hyvin, jouduttiin rullien materiaali sekä seinämän paksuus arvioimaan ilman varmaa tietoa. Rullia koputtelemalla sekä tunnustelemalla päädyttiin siihen tulokseen, että kappaleet on tehty umpinaisiksi ja materiaali on hyvin lähellä terästä. Tällä lopputuloksella mitoitus ei välttämättä jäisi liian pieneksi, jos rullat eivät olisikaan täysin umpinaisia.

Umpinaisen lieriön hitausmomentti saadaan laskettua kaavalla:

$$J = \frac{1}{2} * m * r^2 \quad (8)$$

jossa  $m$  on lieriön massa ja  $r$  lieriön säde. Massa saadaan edelleen laskettua lieriön tilavuuden ja tiheyden avulla kaavalla:

$$\pi * r^2 * h * \rho \quad (9)$$

jossa  $h$  on lieriön korkeus ja  $\rho$  on teräksen tiheys. Teräksen tiheydeksi on ilmoitettu  $7830 \text{ kg/m}^3$ . (Mäkelä, M. 2019. 21, 94, 177.)

Ensiksi mitattiin akseleiden ja kaikkien rullien fyysiset mitat, eli pituudet ja halkaisijat. Tämän jälkeen laskettiin kaikkien niiden rullien lukumäärän, jotka olivat kytkettynä mitattavana olevan akselin perään. Näiden mittojen avulla pystyttiin määrittämään kappaleiden massat ja sitä kautta hitausmomentit jokaiselle kappaleelle. Tämän jälkeen kaikkien akselin perässä olevien kappaleiden hitausmomentit laskettiin yhteen. Tästä tulokseksi saatiin kokonaisvoima, joka tulee kuormittamaan akselin päähän kytkettävää servomoottoria.

Katkaisupuolella hitausmomenttia aiheuttavia rullia on yhteensä 12 kappaletta, joista 8 kappaletta on halkaisijaltaan 8,6 cm, 2 kappaletta halkaisijaltaan 12,6 cm ja 2 kappaletta 11,4 cm. Näiden kaikkien rullien pituus on 16 cm. Tämän lisäksi hitausmomenttiin vaikuttaa kolme 40 cm mittaista akselia, joista kahden halkaisija on 3,8 cm ja kolmannen halkaisija 4 cm.

Näin saadaan kappaleiden hitausmomenteiksi alla olevat tulokset:

$$J = 0,5 * \pi * (0,043m)^3 * 0,16m * 7830 \frac{kg}{m^3} * 8 = 0,054 \frac{kg}{m^2} \quad (10)$$

$$J = 0,5 * \pi * (0,063m)^3 * 0,16m * 7830 \frac{kg}{m^3} * 2 = 0,062 \frac{kg}{m^2} \quad (11)$$

$$J = 0,5 * \pi * (0,057m)^3 * 0,16m * 7830 \frac{kg}{m^3} * 2 = 0,042 \frac{kg}{m^2} \quad (12)$$

$$J = 0,5 * \pi * (0,038m)^3 * 0,4m * 7830 \frac{kg}{m^3} * 2 = 0,0013 \frac{kg}{m^2} \quad (13)$$

$$J = 0,5 * \pi * (0,04m)^3 * 0,4m * 7830 \frac{kg}{m^3} = 0,00079 \frac{kg}{m^2} \quad (14)$$

Kun nämä summaa yhteen, katkaisupuolen hitausmomentiksi tulee  $0,16 \frac{kg}{m^2}$ .

Paperin jaon puolella hitausmomenttiin vaikuttavia rullia on 22 kappaletta, joista kaikki on 16 cm pitkiä ja jokaisen rullan halkaisija on 11 cm. Katkaisupuolen hitausmomentti saadaan laskulla:

$$J = 0,5 * \pi * (0,055m)^3 * 0,16m * 7830 \frac{kg}{m^3} * 22 = 0,40 \frac{kg}{m^2} \quad (15)$$

Näiden laskettujen ja mitattujen arvojen perusteella saatiin mitoitettua kumpaankin kohteeseen sopivan kokoiset moottorit.

### 5.2.5 Inertiasuhde

Moottorikäyttöjä mitoittaessa on tärkeä huomioida moottorin ja sen perässä olevan kuorman inertiasuhde. Inertiasuhteella tarkoitetaan moottorin hitausmomentin suhdetta kuorman hitausmomenttiin. On tärkeää, että inertiasuhde pysyy kohtuullisena, koska sillä on vaikutusta kuorman hallintaan. Inertiasuhdeluvun ollessa suuri ajettava kokonaisuus ei voi olla kovin jäykkä, koska silloin moottorilla ei saada aikaan nopeita kierrosnopeuden muutoksia. Jos suhdeluku on suuri, on moottorin vaikea saavuttaa haluttua asemaa, jolloin saattaa aiheutua värähtelyä. Tämä johtuu siitä, että servomoottori ei painoita itseään oikein vaan ajaa asemastaan hieman yli, jonka jälkeen säätöpiiri alkaa kompensoimaan

tapahtunutta. Lopulta tämä voi johtaa hallinnan menetykseen. Moottorin säädöillä pystytään kuitenkin hallitsemaan myös melko suuriakin inertiasuhteita ja luultavasti se tulee väistämättä eteen tässäkin työssä. Inertiasuhteen olisi hyvä olla 15 tai sitä pienempi. Silloin moottorin säädön kanssa ei tule suuria ongelmia. (Sew eurodrive 2019, 66, 67.)

### **5.2.6 Moottoreiden ominaisuudet**

Moottoreissa niiden omaan inertiaan vaikuttaa esimerkiksi moottorin koko (TIA Selection Tool). Tämä on yksi syy siihen, miksi tähän muutostyön kohteena olevaan koneeseen valittiin tarkoituksella hieman todellista tarvetta suuremmat moottorit. Valituissa 3,15 kW moottoreissa moottorin sisäinen inertia on  $99 \text{ kg/cm}^2$ , joka pienemmässä 2,75 kW moottorissa olisi ollut vain  $49 \text{ kg/cm}^2$ . Inertiasuhteiksi koneessa saadaan paperin jakoon 40,4 ja katkaisuun 16,2. Inertiasuhteet muodostuivat pelättyä pienemmiksi, vaikka ne ovat vieläkin tavoiteltua arvoa suuremmat. Kyseisessä paperinjalostuskoneessa pyöri-vien rullien massat ovat niin suuria, ettei inertiasuhdetta ole mahdollista saada täysin optimaaliseksi. Tämä ei ole tarpeenkaan, koska koneella ei ole tarvetta saada aikaan nopeita pyörimisnopeuden muutoksia.

## 6 TEKNOLOGIOIDEN VALINTA

### 6.1 Taajuusmuuttaja

Siemens tarjoaa useita tuoteperheitä taajuusmuuttajista, joista tähän olisi voinut käyttää useampaakin eri mallia. Mahdollisia tuoteperheitä ovat esimerkiksi V90, S120 ja S210. Näistä V90 on esimerkiksi melko yksinkertaistettu malli, mutta se tarjoaa kuitenkin useaan eri teholuokkaan sopivan taajuusmuuttajan. Teholuokka V90-tuoteperheessä yltää 0.4 kW:sta aina 7 kW:iin saakka. Tästä suurempi ja tehokkaampi on S120, joka sopii raskaampiin sovelluksiin. S120 tarjoaa useampia ominaisuuksia kuin V90, esimerkiksi moottorin ohjaus ja käyttäjän määrittelemät toimintoprofiilit. Myös liitäntämahdollisuudet kasvavat, kun siirrytään S120 sarjaan. (Siemens 2020.)

S210 on edellisiä tuoteperheitä uudempi sarja ja sisältää uusia parannuksia niin ominaisuuksissaan kuin tehokkuudessaankin. S210 on rakenteeltaan modulaarinen ja näin myös mahdollistaa joustavamman konfiguroinnin sekä helpon laajentamisen. Ulkomitoiltaan S210 on edeltäjiään pienempi, mutta tarjoaa silti korkeamman tehon. S210 taajuusmuuttajaan ollaan tuotu moderni käyttöliittymä, joka on helpompi käyttää ja tarjoaa käyttäjälle reaaliaikaista tietoa laitteista käytön aikana. (Siemens 2020.)

S120 tuoteperhe valikoitui tähän sovellukseen sopivaksi ja kyseisen tuoteperheen laitteita löytyy myös työn tilaajalta varastosta. Tämä helpottaa tulevaisuudessa varaosahankintoja ja auttoi tuoteperheen valinnassa.

### 6.2 Moottorin valinta

Moottori valittiin kumpaankin kohteeseen ilman vaihdelaatikkoa, koska akseleiden suurimmat pyörittynopeudet olivat niin lähellä saatavilla olevien moottoreiden nimellisnopeutta. Näin moottoria pystytään pyörittämään lähes nimellisnopeudella ja moottorista saadaan paras suorituskyky ja hyötysuhde irti.

Moottorin suunnittelussa on optimoitu sen komponentit ja ominaisuudet niin, että moottoria kannattaa hyvän hyötysuhteen saavuttamiseksi pyörittää nimellisnopeudella. Lisäksi sähkömoottorissa teho on

suoraan verrannollinen sen kierrosnopeuteen ja moottorin maksimiteho saavutetaan yleensä nimellisko- nopeudella, joka on suunniteltu moottorin valmistuksessa. Nimellisko- nopeudesta poikkeavilla kierrosno- peuksilla moottorin teho alkaa laskea. (ABB 2001, 13-24.)

Suuri syy vaihdelaatikon pois jättämiselle on myös valmiiden vaihdelaatikoiden rajallisuus. Vaihdelaat- tikkoja ei löydy työhön sopivalla välityssuhteella, minkä vuoksi ideaaliseen pyörimisko- peuteen ei vaihdelaatikon kanssa pääsisi.

Yhtenä mahdollisuutena olisi ollut myös hihnarullien hyödyntäminen sopivan välityssuhteen saavutta- miseksi. Hihnarullien avulla olisi pystynyt mitoittamaan välityssuhteen tarpeen mukaan. Aiheeseen tutustuttuani ongelmana olisi ollut laakerointi, joka ei kestä hihnan kiristykseen vaadittavaa vääntöä.

Vaihdelaatikko olisi myös välityssuhteen mukaan samassa suhteessa pienentänyt moottorin ja kuorman inertiasuhdetta, joka mitoituksessa jäi hieman suureksi. Tämän vuoksi moottoria valittaessa huomioi- tiin moottorin sisäinen inertia. Moottorin koon lisäksi valikoitiin high inertia -moottori, joka omaa kor- keamman inertian.

### **6.3 Moottoreiden mitoitus**

Moottoreiden mitoituksessa hyödynnettiin TIA Selection Tool -sovellusta, joka pystyy arvioimaan an- nettujen mittaustulosten perusteella kohteeseen sopivan moottorin.

Mitoitus aloitettiin tekemällä tarpeelliset rajaukset moottorin valintaan liittyen aikaisemmat huomiot mukaan lukien. Moottoriksi valittiin servomoottori, jolla saadaan rakennettua nopeussynkronia akse- leiden välille. Tässä vaiheessa moottoriin olisi voinut valita halutessaan myös vaihdelaatikon, jolloin ohjelma olisi huomionnut sen kierrosnopeuksia ja momenteja laskiessaan.

Tämän jälkeen kummallekin moottorille määritettiin kuormituskäyrä, johon tarvittiin käynnistykseen sekä pysähdykseen tarvittava aika, tarvittava momentti, moottorin pyörimisaika ja moottorin perässä oleva inertian määrä. Moottoreiden käynnistys- ja pysäytysajoissa käytettiin tämänhetkisiä laitteen kiihtyvyyssajoja, jotka saatiin mittaamalla. Näiden annettujen arvojen avulla sovellus piirsi kuormitus- käyrän ja arvioi tämän avulla moottorin sekä kuorman inertiasuhdetta, moottorin lämpenemää sekä momentin riittävyyttä. Ohjelmassa oli mahdollista rajata esitettävät moottorit esimerkiksi sopivuuden mukaan, jolloin tarjolla oli vain moottorit, jotka pystyvät täyttämään edellä mainitut asiat.

Kuviossa 1 ja 2 on sovelluksesta otetut kuvakaappaukset arvoista, joita käytettiin moottoreiden mitoittamisessa. Syötetyissä arvoissa on käytetty selkeyttämisen vuoksi lyhyttä ajoaikaa, eli 10s. Tämä siksi, että kuvaajiin saatiin piirtymään näkyvät muutokset ja niitä oli helpompi tulkita. Todellisuudessa linjastoa saatetaan ajaa useita tunteja tauotta. Tämä on huomioitu moottoria valittaessa ja silloin käytäntä on käytetty arvoa 2000s.

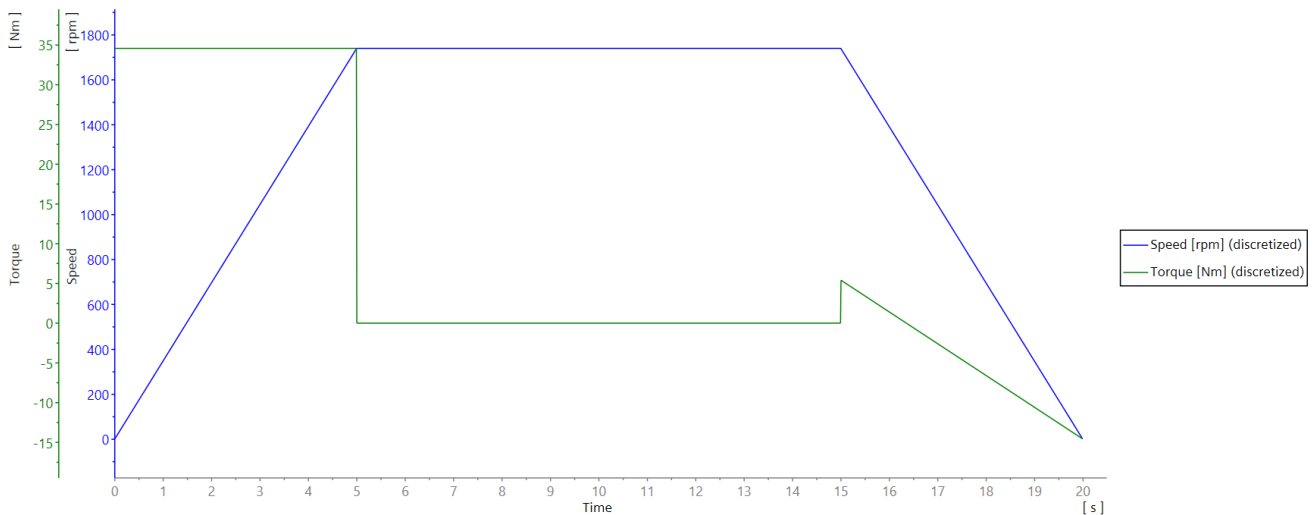
Section	Duration s	End speed rpm	Start torque Nm	End torque Nm	Start acceleration rev./s <sup>2</sup>	End acceleration rev./s <sup>2</sup>	Mass inertia kg m <sup>2</sup>
1	5.00	1740	20.0	20.0	5.80	5.80	0.400
2	10.0	1740	0.00	0.00	0.00	0.00	0.400
3	5.00	0.00	20.0	0.00	-5.80	-5.80	0.400

KUVIO 1. Jako-osassa käytetyt arvot (TIA Selection Tool)

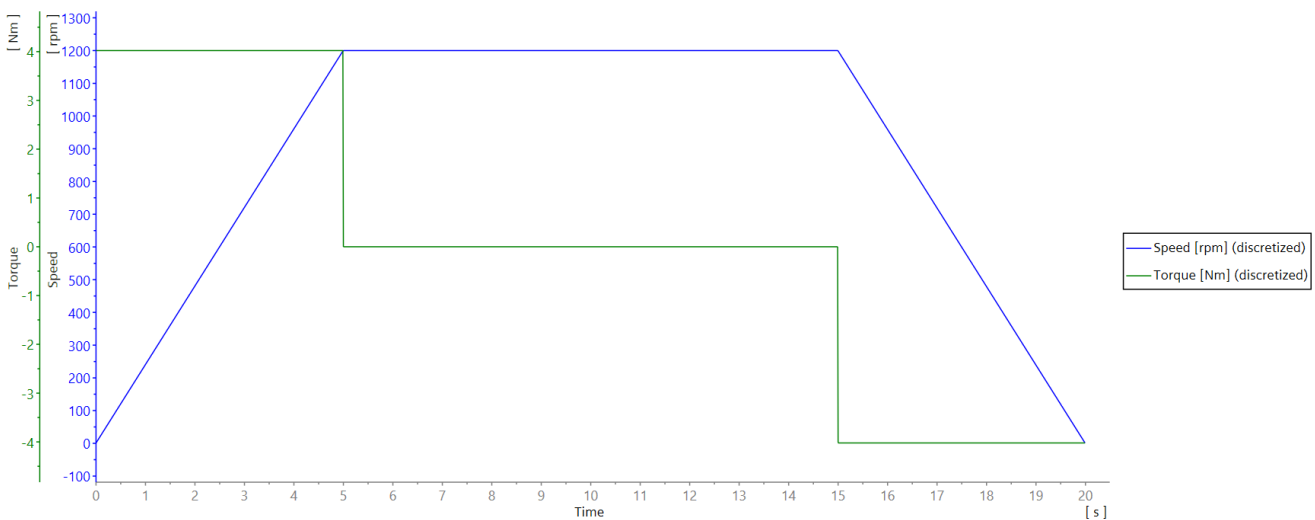
Section	Duration s	End speed rpm	Start torque Nm	End torque Nm	Start acceleration rev./s <sup>2</sup>	End acceleration rev./s <sup>2</sup>	Mass inertia kg m <sup>2</sup>
1	5.00	1200	0.00	0.00	4.00	4.00	0.160
2	10.0	1200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.160
3	5.00	0.00	0.00	0.00	-4.00	-4.00	0.160

KUVIO 2. Katkaisulla käytetyt arvot (TIA Selection Tool)

Kuvaajissa 3 ja 4 on kuvaajat, jotka TIA Selection Tool -sovellus on piirretty annettujen arvojen pohjalta. Kuvaajista ilmenee moottoreiden käyttämien momentin ja kierrosnopeuden suhde. Paperinjako puolella kiihdytysmomentti nousee hetkellisesti yli moottorin nimellismomentin, mutta se ei kuormita moottoria liikaa pitkien käyttöaikojen vuoksi. Moottorin suurin sallittu mekaaninen momentti on 61, joten arvo pysyy vielä sen alapuolella. Moottoria on hetkellisesti mahdollista kuormittaa nimellismomenttia suuremmalla momentilla.



KUVIO 3. Kuvaaja paperin jako (TIA Selection Tool)



KUVIO 4. Kuvaaja katkaisu (TIA Selection Tool)

Tämän jälkeen sovellus listasi moottorit, jotka olivat kohteeseen sopivat. Moottoreissa oli eroja tehoissa sekä moottoreiden sisäisen inertian määrässä. Nämä vaikuttavat suoraan moottorin lämpenemään, joka taas vaikutti moottoreiden valintaan. Moottorit valittiin niin, ettei lämpenemä ollut lähellä 100%, koska se olisi vaikuttanut negatiivisesti moottorin kestävyys.

Lopulta moottoreiksi valikoituituivat SIMOTICS S – 1FK7, jotka ovat teholtaan 3,15 kW. Moottoreiden nimellisnopeus on 2000 rpm. Moottorin datalehti löytyy liitteestä 1. Vaikka katkaisulinjastoon olisi riittänyt hieman pienempikin moottori, valittiin siihenkin samankokoinen moottori. Moottoreiden

hintaero pienempään verrattuna ei ollut hirvittävän suuri ja lisäksi tulevaisuutta ajatellen varaosahankinnat sekä muut huollot on helpompi toteuttaa, kun molemmissa on samanlaiset moottorit.

Paperinjako puolelle Tia Selection Tool -sovellus mitoitti laskettuja arvoja pienemmän moottorin. Tämä sen takia, koska pitkät käyttöajat eivät kuormita moottoria niin paljon kuin tiehään tehdyt käynnistykset, jotka vaativat moottorin nimellismomenttia suuremman momentin.

## **6.4 PLC**

PLC tulee englannin kielen sanoista Programmable Logic Controller, joka suomeksi tarkoittaa ohjelmoitavaa logiikkaa. PLC on mikroprosessoripohjainen ohjain, johon on mahdollista tallentaa ohjelma yksinkertaisella, melko intuitiivisella kielellä. Ohjelma on yhdenlainen komentosarja, jolla käyttäjä kertoo toimilaitteiden toiminnat. PLC seuraa muistissa olevaa ohjelmaa ja ohjaa logiikan lähtöjä ja tuloja tarpeen mukaan. PLC:hen kytketään kiinni toimintaan tarvittavat ja logiikan ohjaamat toimilaitteet kuten anturit, venttiilit, moottorit ja kytkimet. (Mehta & Reddy 2015, 37.)

### **6.4.1 Turvalogiikka**

Turva-PLC sisältää tavalliseen PLC:hen verrattuna lisäominaisuuksia laitteiston- ja ohjelmistosuunnittelun osalta. Nämä ominaisuudet mahdollistavat vikojen tunnistamisen ja turvallisen alasajon, jos tilanne sitä vaatii. Valintakriteerit tavallisella- ja turvalogiikalla ovat hieman erilaiset. Tavallisen tapauksessa valinnassa keskitytään logiikan suorituskykyyn, tulojen ja lähtöjen määrään, tiedonsiirtokykyyn sekä nopeuteen. Turvalogiikassa kriteerit perustuvat enempi järjestelmän SIL-ominaisuuksiin, luotettavuuteen sekä vikasietoisuuteen. Lyhenne SIL tulee englannin kielen sanoista Safety Integrity Level, joka suomennettuna tarkoittaa turvallisuuden eheystasoa. (Keswick 2021.)

### **6.4.2 Teknologia PLC**

Teknologia PLC tarjoaa tavalliseen logiikkaan verrattuna monipuolisempaa liikkeenohjausta, signaalin käsittelyä, PID-ohjausta sekä sarjaliikenneohjauksia. Nykypäivän koneet ovat teknologisten tehtävien osalta monipuolisia ja usein melko vaativiakin. Teknologia PLC:n avulla ratkeavat vaativimmatkin tehtävät liittyen liikkeenohjaukseen tai vaikka koneoppimiseen. Esimerkiksi SIMATIC S7-1500 T:ssä on uudistettu prosessori, joka mahdollistaa laajennetut liikkeenohjaustoiminnot, kuten voimansiirron ja

nokkakiekon synkronointiin sekä ohjauksiin 2D:stä 4D-kinematiikkaan. Teknologiasuoritin mahdollistaa myös moniakselijärjestelmien automatisoinnin, vaikka akselit sijaitsisivatkin eri prosesseissa. Käytännössä akselikonfiguraatioille ei ole rajoituksia. (Siemens.)

Muutostyön kohteena olevan koneen toiseen osaan oli aikaisemmin jo tehty muutostöitä ja koneessa oli hyödynnetty SIMATIC S7-1500 PLC:tä. Myös muutostyössä asennettavien uusien moottoreiden ohjaus pystytään suorittamaan tätä samaa PLC:tä hyödyntämällä.

## 7 OHJELMOINTI

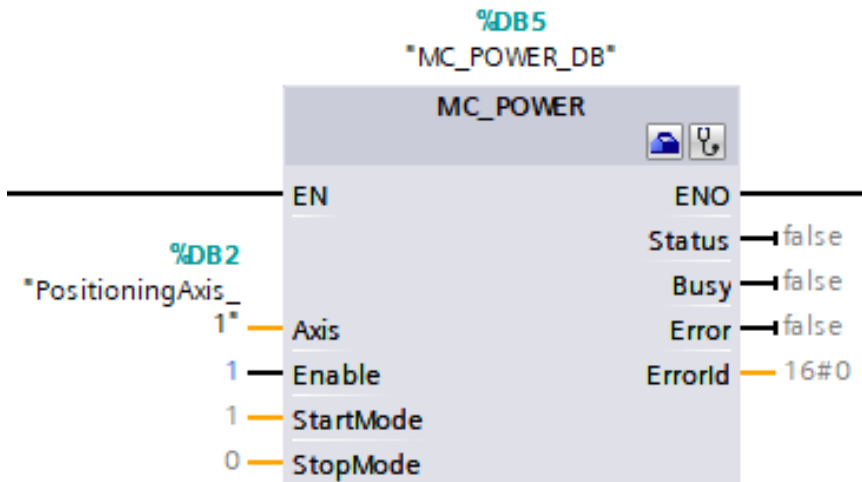
Modernisoitavan koneen toimintaan perehdyttyä selvisi, että muokattavien akseleiden ei ole tarpeellista olla keskenään synkroniassa paikan suhteen. Akseleiden perässä olevat toimilaitteet eivät työskentele niin, että ne voisivat eriaikaisuudestaan johtuen rikkoa toisensa tai jollakin tavalla törmätä toisiinsa. Koneessa ohjataan tulevien moottoreiden avulla vain pyöriviä rullia ja tässä tapauksessa riittää, että rullat pyörivät toistensa suhteen samassa nopeussynkroniassa. Akseleihin kohdistuva nopeuden säätö tapahtuukin säätämällä akseleiden keskinäistä nopeussuhdetta.

Koneen muokattavien osien toiminnan on seurattava muun koneen toimintaa. Turvakatkaisun, kuten oven avaamisen on pysäytettävä katkaisu- ja paperin jakolinjasto välittömästi. Myös hätäpysäytyksen täytyy pysäyttää muokattavat akselit muun koneen ohella. Tämä pysäytysaika laskettiin koneen tämänhetkisestä tilasta ja hätäseis-painikkeen painaminen pysäytti koneen 5 sekunnissa.

Koneeseen oli alun perin tarkoitus vaihtaa uusi PLC, jolloin myös turvatoiminnot oltaisiin jouduttu ohjelmoimaan PLC:lle uudelleen. Työn tilaaja kuitenkin halusi, että hyödynnämme koneessa aiemmin ollutta logiikkaa, joka oli sen verran uusi, että sen käyttö oli mahdollista. Uusi ohjelma lisätään logiikalle vanhojen ohjelmien lisäksi, joiden joukossa on jo tarvittavat turvatoiminnot.

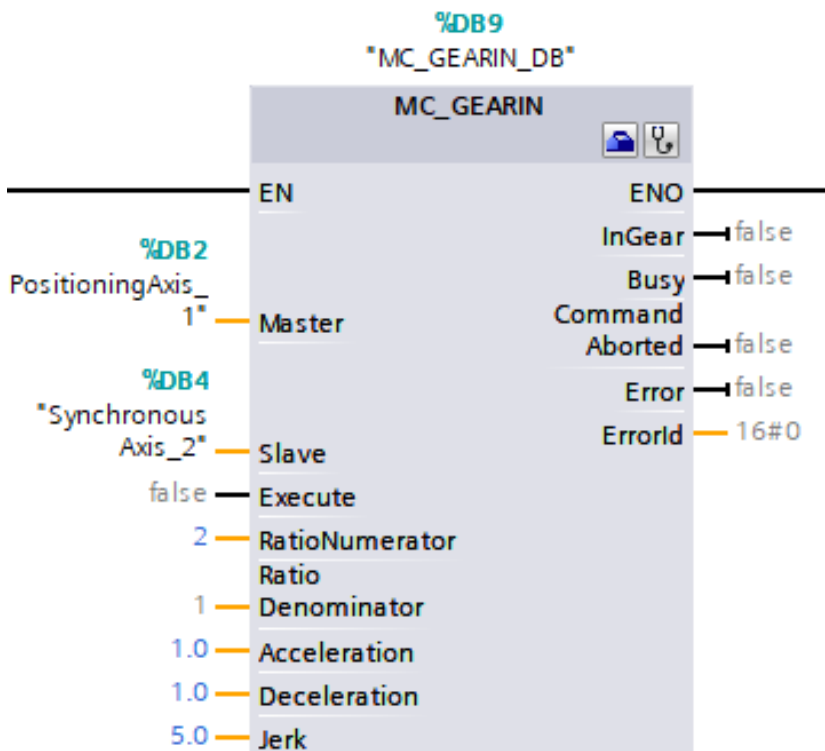
### 7.1 Motion Control

TIA Portal -sovelluksesta löytyy moottoreiden ohjaamiseen toisen akselin suhteen valmiita ohjelmalohkoja eli Motion Control -lohkoja. Esittelen tarkemmin lohkoja, joita moottorien ohjaamisessa olisi voitu hyödyntää.



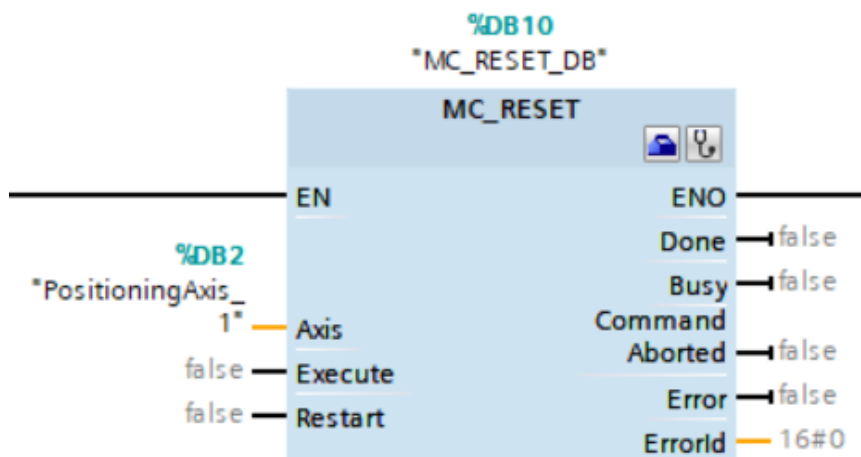
KUVA 5. Motion Control Power -lohko

MC-Power -lohkon avulla aktivoidaan haluttu akseli käyttöä varten. Lohkon avulla on mahdollista aktivoida vain toinen tai kumpikin kiertosuunta. Akselin liikuttaminen edellyttää, että se aktivoidaan käyttöön. Axis-parametrilla valitaan aktivoitava akseli. Akselin käyttö sallitaan, kun Enable aktivoituu, jonka jälkeen myös Status ja Busy muuttuvat TRUE-tilaan. (TIA Portal.)



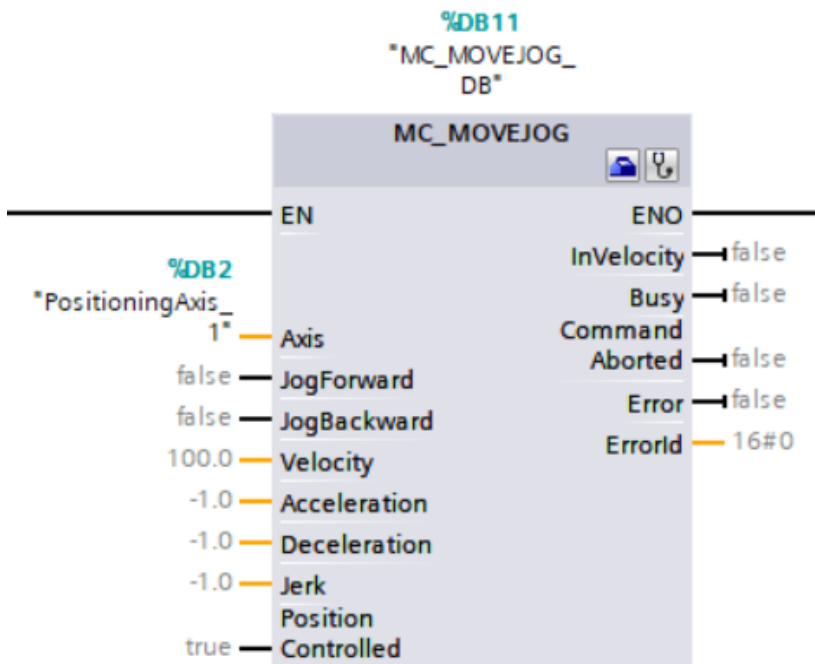
KUVA 6. Motion Control Gearin -lohko

Motion Control -lohkolla "MC\_GEARIN" on mahdollista suorittaa synkronia-ajo nopeuden suhteen johtavan ja seuraavan akselin välillä. Lohkossa seuraavan akselin dynaaminen käyttäytyminen synkroniaa varten määritellään parametreilla Acceleration, Deceleration ja Jerk. Synkronian välityssuhde eli keskinäinen pyörimissuhde määritellään kahden kokonaisluvun välisenä suhteena parametreilla RatioNumerator ja RatioDenominator. Myös seuraavan akselin pyörimissuunta on määritettävä. Se tapahtuu pyörimissuhteen osoittajan määrittämisellä positiiviseksi tai negatiiviseksi. Pyörimissuuntaa määrytyy tämän mukaan. (TIA Portal.)



KUVA 7. Motion Control Reset -lohko

MC\_Reset -lohkon avulla pystytään kuittaamaan kaikki tekniikan hälytykset, jotka on mahdollista kuittaa käyttäjäohjelmassa. Kuittaus nollaa myös Error- ja Warning- bitit teknologiaobjektin tietolohkossa. (TIA Portal.)



KUVA 8. Motion Control Movejog -lohko

MC-Jog -toimintalohko mahdollistaa valitun akselin liikuttamisen käsiajolla. Liikuttaminen voidaan valita joko positiiviseen tai negatiiviseen suuntaan. Lohkon avulla akselille pystytään määrittämään myös haluttu nopeus. (TIA Portal.)

## 7.2 DCC

Nyt, kun ohjelma tehdään vanhalle logiikalle, joka sisältää jo valmiiksi ohjelma koodia, täytyy koodista saada mahdollisimman vähän logiikkaa kuormittava. Tämä onnistuu DCC-toimintoa hyödyntämällä, jonka avulla saadaan ohjattua moottoreita seuraamaan johtavaa akselia. Koodi suoritetaan Control Unitissa, jolloin PLC ei kuormitu lisätystä ohjelmasta.

DCC on lyhenne Drive Control Chart, joka suomennettuna tarkoittaa ajomoottorin ohjauskaaviota. Ohjaustapa on yksi TIA portal- ohjelman toiminnoista.

DCC- toiminnon avulla luodaan kaavio, joka ohjaa moottoreita tai joitain muita sähkömekaanisia laitteita. Kaavion avulla määritellään moottorin käynnistykset ja pysäytykset, ajonopeus sekä erilaiset suojaustoiminnot. DCC-toiminto on hyödyllinen erityisesti teollisuusautomaatiossa, jossa on tarve ohjata erilaisia laitteita ja prosesseja.

DCC-toimintojen käyttöönotto tapahtuu TIA Portal-sovelluksessa seuraavin välivaihein:

Ensiksi TIA Portaliin tuodaan kaksi uutta DCB-laajennuskirjastoa, jotka mahdollistavat ja helpottavat ohjelman sekä konfiguroinnin luomisen. Kirjastot sisältävät valmiita ohjelmakoodinpätkiä, funktioita ja moduuleita. Tässä projektissa tarvittavat kirjastot olivat GMC\_SINAMICS- ja extended\_SI-NAMICS-kirjastot. Myöhemmässä vaiheessa täytyy lisätä myös LMCSINA-kirjasto, joka sisältää logiikalle tarvittavat ohjelmalohkot.

Kirjastojen lisäyksen jälkeen ohjelmoitavat akselit, jotka ohjelmaan on luotu aikaisemmin, konfiguroidaan Siemensin ohjeiden mukaisesti. Konfigurointijärjestys on sellainen, että ensin aloitetaan seuraavien akselien konfiguroimisella ja viimeisenä konfiguroidaan johtava akseli.

Kun kirjastot ovat lisättyinä ja tarpeelliset konfiguroinnit tehtynä, akseleille tuodaan Siemensin valmiiksi luomat Chartit. Chart on graafinen työkalu, joka luo visuaalisen näkymän tiedonkululle ohjaimen ja anturin välille. Siemens tarjoaa valmiit Chartit sekä johtavalle että seuraavillekin akseleille. Tämä vähentää ja helpottaa paljon käsin tehtävää ohjelmointia.

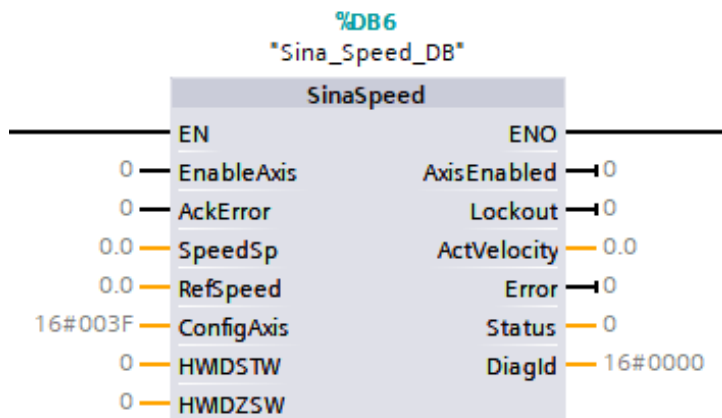
Seuraavaksi LMCSINA-Synkronismia varten johtavan ja seuraavien akselien välille tarvitsee luoda monia yhteenliitoksia. Tähänkin Siemens tarjoaa lisäosan nimeltään AddIn. Lisäosa täytyy lisätä TIA Portal -sovelluksen sisältävään kansioon ja ottaa tämän jälkeen käyttöön TIA Portal -sovelluksessa.

Kun kaikki edellä mainitut toiminnot on suoritettu, on mahdollista suorittaa DCC-synkronismi. Tämä luo tarvittavat yhteydet akselien sekä logiikan välille. Toiminto korjaa myös akselien tarvittavat parametrit, jolloin säästetään ohjelmoinnissa aikaa ja vaivaa. Ohjelma näyttää lopuksi raportin parametreista, joihin muutokset kohdistuvat.

Kun tarvittavat Chartit ja yhteydet akselisiin on luotu, pystytään logiikalle ohjelmakoodiin lisäämään akselien ohjaamiseen tarvittavat ohjelmalohkot. Näillä moottorien ohjaus onnistuu monipuolisesti ja logiikkaa mahdollisimman vähän kuormittaen.

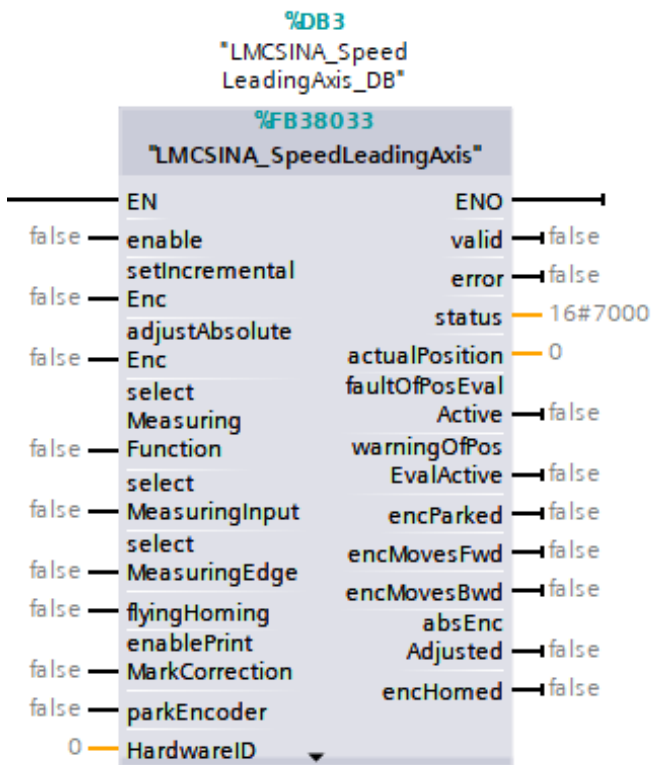
Ensimmäinen tarvittava ohjelmalohko on SinaSpeed -lohko, johon sisääntuloon syötetään haluttua nopeutta, jonka jälkeen lohko säätelee ulostulon nopeutta niin, että moottorin nopeus vastaa syötettyä no-

peutta. Lohko hyödyntää nopeuden säätöön PID-säätöalgoritmia. Nopeuden halutun arvon lisäksi lohkoilla on mahdollista säätää esimerkiksi vaimennusta ja kiihtyvyyttä, joiden avulla moottorin käyttäytyminen saadaan optimoitua.



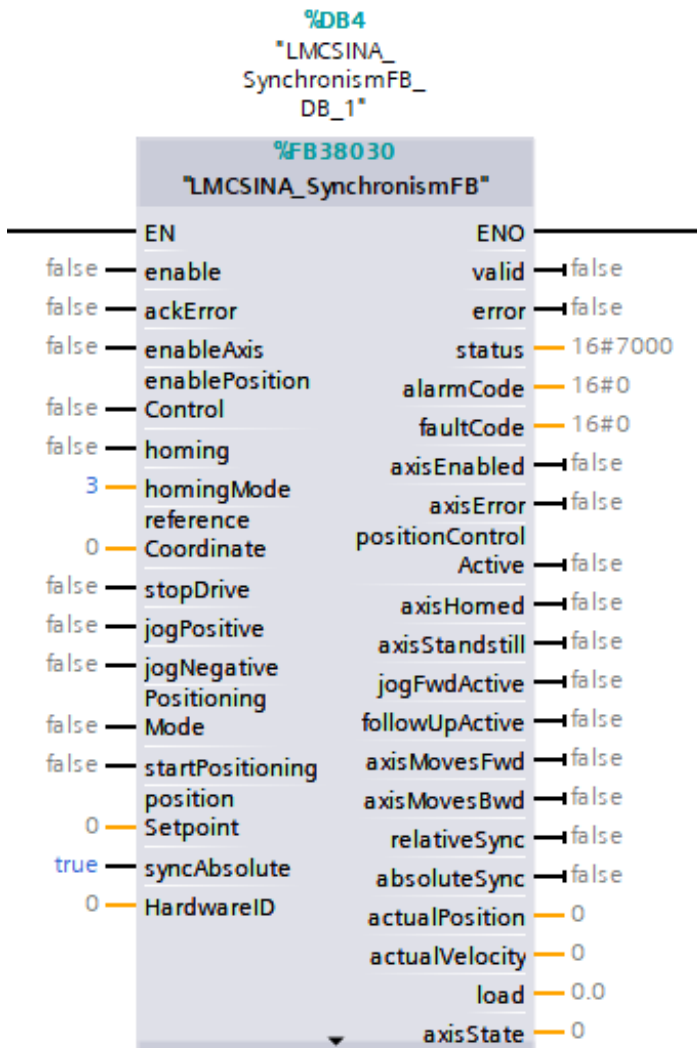
KUVA 9. TIA Portal SinaSpeed -lohko

Seuraava akselien ohjaukseen tarvittava lohko on LMCSINA\_SpeedLeadingAxis, jolle sisään tuleva nopeusarvo otetaan suoraan SinaSpeed-lohkon ulostulosta. Tämä lohko soveltuu nopeuksien ohjaamiseen sovelluksessa, joissa yhden johtavan akselin perusteella ohjataan useamman seuraavan akselin nopeutta. Myös LMCSINA\_SpeedLeadingAxis-lohko hyödyntää PID-säätöalgoritmeja nopeuden säätämiseen. Kyseinen lohko sisältää myös vikadiagnostiikkatoimintoja, jotka voivat auttaa käyttäjää tunnistamaan ja ratkaisemaan nopeuden ohjaukseen liittyviä ongelmia.



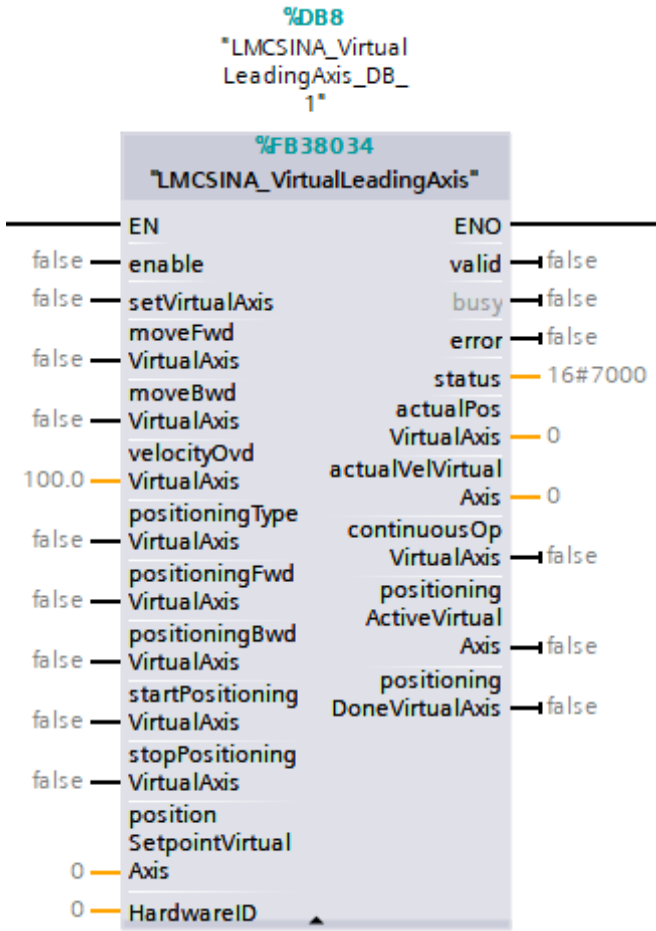
KUVA 10. TIA Portal LMCSINA-SpeedLeadingAxis -lohko

Kolmas tarvittava lohko on SynchronismFB-lohko, joka on suunniteltu synkronoimaan useita akselinopeuksia ohjaimen sisällä. Tämä lohko mahdollistaa useiden moottoreiden ja akselien synkronisoinnin esimerkiksi kyseessä olevassa jalostuskoneessa. Jokaiselle seuraavalle akselille täytyy luoda oma SynchronismFB-lohko.



KUVA 11. TIA Portal SynchronismFB -lohko

Myös LMCSINA\_VirtualLeadingAxis-lohko voi joissain tapuksissa olla tarpeellinen. Tämä lohko mahdollistaa virtuaalisen johtavan akselin käytön liikkeenohjauksessa. Virtuaalinen johtava akseli on monesti käytössä liikkeenohjausjärjestelmissä ja se tarkoittaa akselia, joka ohjaa useampia muita akselia samalla nopeudella ja suunnalla. LMCSINA\_VirtualLeadingAxis-lohkon avulla voit toteuttaa virtuaalisen johtavan akselin ohjauksen TIA Portal -ohjelmistossa. Tämä lohko käyttää kahta akselinopeusanturia (Master ja Follower) ja ohjaa toisen akselinopeusprofiilia (Follower) vastaamaan toisen akselin (Master) nopeusprofiilia.



KUVA 12. TIA Portal LMCSINA\_VirtualLeadingAxis -lohko

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella muutostyö jalostuskoneeseen. Muutostyön tarkoitus oli helpottaa koneen käyttöä, mutta ennen kaikkea lisätä koneen turvallisuutta käyttäjille. Työssä oli tarkoitus hyödyntää servotekniikkaa, joka työtä aloittaessa oli itselle täysin uusi asia. Työn aikana pääsin tutustumaan hieman servotekniikkaan sekä servojen ohjaustapaan.

Koneen muutostyössä olisi ollut ehkä mahdollista käyttää myös esimerkiksi oikosulkumoottoreita, jotka käyttökohteeseen peilattuina olisivat voineet olla järkevä valinta. Esimerkiksi servomoottoreilla saatuja nopeita liikkeen muutoksia ei oikeastaan voida hyödyntää, koska kone on niin raskarakenteinen. Servotekniikalla saadaan kuitenkin helposti moottoreista takaisinkytkennät, jolloin akseleiden ajaminen nopeussynkroniassa onnistuu helposti.

Opinnäytetyön yhtenä suurena osana oli jalostuskoneen toiminnan selvitys sekä tarpeellisten mittaus-ten suorittaminen, jotta koneen muutostyötä vaativiin kohteisiin pystyttiin mitoittamaan moottoreita. Niin kuin aikaisemmin jo kerroin, osa mittauksista oli haastava suunnitella etukäteen ja parhaan tavan mittauksille tiesi vasta paikan päällä. Mittaustuloksia jälkeensä analysoidessa, heräsi muutamia epäilyksiä, joita ei mittaamalla saatu selvitettyä. Esimerkiksi laitteiston inertiaan vaikuttavat akseleiden ja paperirullien massat jouduin osaltaan arvioimaan näppituntumalla. Jos rullat olisivatkin olleet sisältä ontoja minun oletustani umpinaisuudesta poiketen, olisi inertia huomattavasti pienempi ja silloin moottorin kokokin olisi luultavasti pienentynyt. Toki inertiasuhteessa ei silloinkaan olisi päästy optimaaliseen lukemaan, eikä siihen ole tarvettakaan. Koneen toiminta ei ole riippuvainen nopeasti tapahtuvista nopeudenmuutoksista, vaan tässä tapauksessa riittää hieman hitaammatkin kiihdytykset. Näin moottoreiden ohjauksilla voidaan kompensoida inertiasuhteiden vaikutuksia.

Opinnäytetyön tarkoitus oli alun perin kattaa myös ohjelman muodostus moottoreille, sekä simulointi tehdylle ohjelmalle. Projektin läpi vieminen olisi kokonaisuudessaan venynyt kuitenkin niin pitkäksi, ettei se olisi ollut järkevää opinnäytetyön puitteissa.

Opinnäytetyö sisälsi paljon asioita, jotka täytyi opetella käytännön kautta eikä kaikkiin asioihin esimerkiksi ohjelmointiin liittyen, löytynyt juuri minkäänlaista lähdettä. Asiat täytyi päätellä ohjelman ja pienten tiedon rippeiden avulla, joita on opittu koulussa, koulutuksissa ja erilaisissa palavereissa.

## LÄHTEET

ABB 2001. Tekninen opas nro 7 - Sähkökäytön mitoitus. Ladattavissa oleva pdf-tiedosto. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf) Viitattu 16.3.2023.

Apex Automation Oy. Yrityksen verkkosivut. Saatavissa: <http://apexautomation.fi/fi/yritys>. Viitattu 16.2.2023.

DRIVE CLiQ. DRIVE-CLiQ adaptor. Saatavissa: [http://www.fagorautomation.ch/\\_downloads/DRIVE\\_CLiQ\\_Data\\_Sheet\\_vs0.pdf](http://www.fagorautomation.ch/_downloads/DRIVE_CLiQ_Data_Sheet_vs0.pdf). Viitattu 27.3.2023

Galil. 2010. Servo Motor Controller Basics. WWW-dokumentti. Julkaistu 2010. <http://www.galilmc.com/news/motion-controllers/servo-motor-controller-basics>. Viitattu 15.3.2023.

Johnsson, J. & Kördel, L. 2003. Servotekniikka. Iisalmi: IS-VET.

Keswick, J. 2021. How to choose a Safety PLC. Saatavissa: <https://efunctionalsafety.com/how-tochoose-a-safety-plc/> Viitattu 15.3.2023

Kördel, L. & Johnsson, J. 2004. Moottorinohjaus: Oppikirja. Iisalmi: IS-VET.

Leine & Linde AB. 2014. DRIVE CLiQ. <https://www.leinelinde.com/fi/uutiset/2014/drive-cliq-600/> Viitattu 16.3.2023.

Mehta, B, R. & Reddy, Y, J. 2015. Industrial Process Automation Systems: Design and implementation. Elsevier: Amsterdam.

Microsoft. Excel. Saatavissa: <https://www.microsoft.com/fi-fi/microsoft-365/excel>. Viitattu 9.3.2023.

Mäkelä, M. 2019. Tekniikan kaavasto: Matematiikan, fysiikan, kemian ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä. 19. p. Tampere: Tammertekniikka.

Siemens 2020. SINAMICS Low Voltage Converters. Saatavissa: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:3c5fe93a-be71-4d5c-b51d-a70199dba2b6/dfmc-b10032-00brsinamicsenus-72.pdf> Viitattu 16.3.2023

Siemens. SIMATIC Technology. Industrial Automation Systems. Saatavissa: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/simatic-technology.html>. Viitattu 17.3.2023.

Suvanto, K. 2018. Tekniikan fysiikka 1. Helsinki: Edita.

SEW Eurodrive. 2019. Servo Technology, Drive Engineering – Practical Implementation. Ladattavissa oleva pdf-tiedosto. Saatavissa: <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11322810.pdf>. Viitattu 16.3.2023

TIA Portal. Sovellus. Versio: V17

TIA Selection Tool – quick, easy, smart configuration. Siemens. TIA Selection Tool. Saatavissa: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/topic-areas/tia/tia-selection-tool.html>. Viitattu 6.3.2023.

TIA Selection Tool. Sovellus. Versio: 2022.12.0.32522.

Totally Integrated Automation Portal – Always ready for tomorrow. Siemens. TIA Portal. Saatavissa: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>. Viitattu 6.3.2023.

Us.PROFINET. A Complete Comparison: Profinet RT vs IRT. Saatavissa: <https://us.profinet.com/profinet-rt-vs-irt/>. Viitattu 15.3.2023.

# SIEMENS

## Data sheet for SIMOTICS S-1FK7

MLFB-Ordering data      1FK7084-3BC71-1QA0



Figure similar

Client order no. :  
Order no. :  
Offer no. :  
Remarks :

Item no. :  
Consignment no. :  
Project :

Engineering data		Mechanical data																					
Rated speed (100 K)	2000 rpm	Motor type	Permanent-magnet synchronous motor																				
Number of poles	8	Motor type	High Inertia																				
Rated torque (100 K)	15.0 Nm	Shaft height	80																				
Rated current	6.7 A	Cooling	Natural cooling																				
Static torque (60 K)	16.60 Nm	Radial runout tolerance	0.050 mm																				
Static torque (100 K)	20.00 Nm	Concentricity tolerance	0.10 mm																				
Stall current (60 K)	6.90 A	Axial runout tolerance	0.10 mm																				
Stall current (100 K)	8.50 A	Vibration severity grade	Grade A																				
Moment of inertia	99.000 kgcm <sup>2</sup>	Connector size	1																				
Efficiency	93.0 %	Degree of protection	IP64																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Physical constants</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Torque constant</td> <td>2.36 Nm/A</td> </tr> <tr> <td>Voltage constant at 20° C</td> <td>152.0 V/1000*min<sup>-1</sup></td> </tr> <tr> <td>Winding resistance at 20° C</td> <td>0.58 Ω</td> </tr> <tr> <td>Rotating field inductance</td> <td>12.0 mH</td> </tr> <tr> <td>Electrical time constant</td> <td>20.50 ms</td> </tr> <tr> <td>Mechanical time constant</td> <td>3.10 ms</td> </tr> <tr> <td>Thermal time constant</td> <td>55 min</td> </tr> <tr> <td>Shaft torsional stiffness</td> <td>82000 Nm/rad</td> </tr> <tr> <td>Net weight of the motor</td> <td>23.0 kg</td> </tr> </tbody> </table>		Physical constants		Torque constant	2.36 Nm/A	Voltage constant at 20° C	152.0 V/1000*min <sup>-1</sup>	Winding resistance at 20° C	0.58 Ω	Rotating field inductance	12.0 mH	Electrical time constant	20.50 ms	Mechanical time constant	3.10 ms	Thermal time constant	55 min	Shaft torsional stiffness	82000 Nm/rad	Net weight of the motor	23.0 kg	Design acc. to Code I	IM B5 (IM V1, IM V3)
		Physical constants																					
		Torque constant	2.36 Nm/A																				
		Voltage constant at 20° C	152.0 V/1000*min <sup>-1</sup>																				
		Winding resistance at 20° C	0.58 Ω																				
		Rotating field inductance	12.0 mH																				
		Electrical time constant	20.50 ms																				
		Mechanical time constant	3.10 ms																				
		Thermal time constant	55 min																				
		Shaft torsional stiffness	82000 Nm/rad																				
Net weight of the motor	23.0 kg																						
Temperature monitoring	Pt1000 temperature sensor	Electrical connectors	Connectors for signals and power rotatable																				
Color of the housing	Standard (Anthracite RAL 7016)	Holding brake	without holding brake																				
Shaft end	Feather key	Encoder system	Encoder AS20DQ1: absolute encoder single-turn 20 bits																				

# SIEMENS

MLFB-Ordering data

1FK7084-3BC71-1QA0



Figure similar

Optimum operating point		Recommended Motor Module	
Optimum speed	2000 rpm	Rated inverter current	9 A
Optimum power	3.1 kW	Maximum inverter current	27 A
Limiting data		Maximum torque	58.40 Nm
Max. permissible speed (mech.)	6000 rpm		
Max. permissible speed (inverter)	3800 rpm		
Maximum torque	61.0 Nm		
Maximum current	28.5 A		