



# **Tarralaminaatti uudelleenrullai- men modernisointi**

Santtu Salminen

OPINNÄYTETYÖ  
Maaliskuu 2019

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Automaatiotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Automaatiotekniikka

SALMINEN, SANTTU:

Tarralaminaatin uudelleenrullaimen modernisointi

Opinnäytetyö 111 sivua, joista liitteitä 11 sivua  
Maaliskuu 2019

---

Tässä opinnäytetyössä esitellään tarralaminaatin uudelleenrullaimen modernisoinnin suunnitteluvaihetta. Työssä tarkastellaan modernisointia sähkö- ja automaatioalan näkökannalta.

Työssä käydään läpi tarralaminaatin valmistusprosessi ja suunnittelussa huomioitavia teorioita. Nämä on jaettu rullausteoriaan ja sähkö- ja automaatiotekniikan teoriaan. Koneen rakenne ja puutteet ennen päivitystä käydään läpi ja näiden perusteella määritellään päivityksen tavoitteet.

Sähkö- ja automaatiosuunnitteluosio sisältää komponentti- ja laitevalinnat perusteluineen. Moottoreiden ja taajuusmuuttajien mitoituslaskenta ja käytettyjen mittalaitteiden toimintaperiaatteet esitellään. Työssä kerrotaan johdotuksen suunnittelusta ja dokumentoinnista sekä sähkökeskuksen suunnittelusta.

Sovellussuunnitteluosiossa käydään läpi taajuusmuuttajien, ohjelmoitavan logiikan ja HMI-paneelin ohjelmointia ja keskinäistä kommunikointia. Osiossa avataan taajuusmuuttajien sisäisen laskennan ja säätöpiirien toimintaa.

Logiikkaohjelman rakenne ja muutamia ohjelmaesimerkkejä esitellään. HMI – paneelin näyttöjen rakenne ja tärkeimpien toimintojen toteuttaminen käydään läpi. Toteutusta ja tuloksia ei aikataulusta johtuen pystytty sovittamaan työn sisältöön.

---

Asiasanat: uudelleenrullain, sähkösuunnittelu, automaatiosuunnittelu, sovellussuunnittelu

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree program in Electrical Engineering  
Bachelor of Engineering

SALMINEN; SANTTU:  
Modernisation of a Coil Rewinding Machine

Bachelor's thesis 111 pages, appendices 11 pages  
March 2019

---

This thesis deals with the modernization of an old coil rewinding machine. The focus of this thesis is on the planning phase of the project. Installation, commissioning and analysis of the results is not included in this thesis. The main focus is on electrical and automation engineering.

At the beginning of the thesis there is a brief introduction to the process of making labeling materials. Then the theories relevant to this thesis are introduced. They are split into two categories, winding theory and electrical / automation theory. Next, the machine structure before upgrading will be introduced as well as the justifications for the modernization and the planned structure of the updated machine.

The components chosen for the project and the reasoning behind them is discussed in the electrical and automation design part of the thesis, along with motor and inverter sizing, cabinet and wiring design and documentation. Information on the principles of measurement is also provided

The programming part goes through programming of the inverters, PLC and HMI panel and communication between these. Calculations and control loops of the inverters winding software is also introduced. The structure of the PLC code is shown together with a few examples from the PLC code. The HMI screens and programming of basic operations can be found at the end of the thesis.

---

Key words: coil rewinder, electrical engineering, automation engineering, programming

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	TEORIA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1	Tarralaminaatin valmistus prosessi.....	9
2.1.1	Laminointi.....	9
2.1.2	Jälkikäsittely.....	10
2.1.3	Bobinoiden uudelleenrullaus.....	10
2.2	Rullausteoriaa .....	11
2.2.1	Rullauksen teho.....	11
2.2.2	Rullauksen kuormamomentti .....	12
2.2.3	Venymä ja ratakireys.....	13
2.2.4	Uudelleenrullaimen rakenne .....	15
2.2.5	Rullan ominaisuudet .....	16
2.3	Sähkö- ja automaatiotekninen teoria.....	18
2.3.1	Oikosulkumoottori .....	18
2.3.2	Säädetty sähkömoottorikäyttö.....	20
2.3.3	Taajuusmuuttajan DTC – ohjauksen toimintaperiaate.....	23
2.3.4	Taajuusmuuttajien jarrutusenergia.....	24
2.3.5	Suojalaitteiden ja kaapeleiden mitoitus.....	27
2.3.6	Säätöpiirit, PID-säädin ja säätimen viritys.....	30
3	PROJEKTIN ESISUUNNITTELU.....	35
3.1	Taustatutkimus.....	35
3.2	Tampereen kone ennen päivitystä.....	36
3.2.1	Turvallisuuden puutteet.....	37
3.2.2	Toiminnalliset puutteet.....	38
3.3	Tampereen kone päivityksen jälkeen.....	38
3.3.1	Aukirullain .....	39
3.3.2	Tanssijatela.....	40
3.3.3	Pääkäyttö ja teräasema .....	41
3.3.4	Kontaktitela ja kiinnirullain .....	42
3.4	Riskianalyysi.....	43
4	SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOSUUNNITTELU.....	44
4.1	Moottoreiden mitoitus ja valinta.....	44
4.1.1	Rullainmoottoreiden valinta.....	45
4.1.2	Päämoottorin valinta .....	49
4.2	Taajuusmuuttajien valinta.....	50
4.3	Sähköinen jarrutus .....	51

4.4	Ohjauslaitteiden valinta .....	54
4.4.1	Ohjelmoitava logiikka .....	54
4.4.2	Käyttöliittymä .....	56
4.4.3	Venttiiliyksikkö.....	57
4.5	Kenttä- ja mittalaitteet .....	58
4.5.1	Halkaisijamittaukset.....	58
4.5.2	Kireysmittaus .....	59
4.5.3	Asentomittaukset.....	61
4.5.4	Ratanopeus- ja moottoreiden pyörimisnopeus mittaukset .....	63
4.5.5	Pituusnäyttö.....	64
4.5.6	Turvaskanneri.....	65
4.5.7	Reunanauhasilppuri.....	66
4.6	Pääpulpetti ja operointipaneelit .....	67
4.6.1	Pääpulpetin rakenne .....	67
4.6.2	Vaihtosähköpuoli .....	69
4.6.3	Tasasähköpuoli.....	70
4.6.4	Jäähdytys .....	71
4.6.5	Operointipaneelit.....	72
4.7	Dokumentointi .....	74
5	SOVELLUSUUNNITTELU .....	75
5.1	ABB Taajuusmuuttajat .....	75
5.1.1	Nopeus .....	76
5.1.2	Halkaisija ja pituus.....	77
5.1.3	Kireyden hallinta.....	79
5.1.4	Aukirullain .....	80
5.1.5	Pääkäyttö .....	81
5.1.6	Kiinnirullain .....	82
5.2	Ohjelmoitava logiikka.....	83
5.2.1	Laitteisto konfiguraatio .....	84
5.2.2	Ohjelman rakenne .....	86
5.2.3	Ohjelmaesimerkki: pysäytys halkaisijan mukaan .....	88
5.2.4	Ohjelmaesimerkki: hätäseispiiri.....	90
5.2.5	Ohjelmaesimerkki: kommunikointi taajuusmuuttajan kanssa .....	91
5.3	Käyttöliittymä .....	93
6	POHDINTA.....	97
	LÄHTEET.....	98
	LIITTEET .....	100
	Liite 1. Päivitetyn koneen sähkökuva esimerkkejä .....	101
	Liite 2. Nokeval 2800-2061 Ohjelmointiopas .....	106

Liite 3. P&F UB 2000 Raja-arvojen ohje.....	107
Liite 4. Kaapelin mitoitus ja suojalaitteiden valinta taulukkoarvoja.....	108

**LYHENTEET JA TERMIT**

PLC	Ohjelmoitava logiikka (Programmable logic controller)
HMI	Käyttöliittymä (Human Machine Interface)
HW	Laitteisto (Hardware)
I/O	Sisääntulo / lähtö (Input / Output)
OP	Operointipaneeli
Jumbo	1-2 metriä leveä tarralaminaatti emorulla
Bobina	Leikattu tarralaminaatti rulla
CRM	Uudelleenrullauskone (Coil Rewinding Machine)
DTC	Suora momenttiohjaus (Direct torque control)
PPO	Parametri / Prosessidata kehys (Parameter process data object)
PID	PID-säädin
PZD	Prosessidata (Process Data)
OB	Organisaatiolohko (Organisation block)
Sil	IEC – turvataso (Safety Integrity Level)
PL	ISO – turvataso (Performance level)

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tarralaminaatin uudelleenrullaamiseen käytetyn koneen päivitys nykypäiväiseksi. Työ tehdään UPM Raflatac Oy:lle kehitysprojektina. Yrityksessä on tällä hetkellä 28 kyseisen mallin uudelleenrullaus konetta sijoiteltuna ympäri maailman. UPM Raflatac Oy on tarralaminaattia valmistava yritys, joka perustettiin vuonna 1976. Yrityksellä on 10 tehdasta ja 25 leikkuuterminaalia maailman laajuisesti.

Tarkoituksena projektissa on rakentaa Tampereen tehtaalle päivitetty kone, jolla pystytään testaamaan mitä ominaisuuksia erilaiset lisäykset tuovat koneeseen. Testivaiheen jälkeen Tampereen päivityksen perusteella luodaan kaksi erilaista päivityspakettia uudelleenrullaimille. Yksi ”High Tech” – ratkaisu tehtaalle ja yksi yksinkertaisempi vaihtoehto, jota voidaan tarjota terminaaleille. Tämä erittely johtuu siitä, että tehtailla on enemmän teknistä osaamista ja tarve ajaa haastavampia materiaaleja. Kun taas terminaaleissa ei välttämättä ole teknistä tietotaitoa omaavaa henkilöä ollenkaan paikalla ja ajettavat materiaalit ovat helpompia.

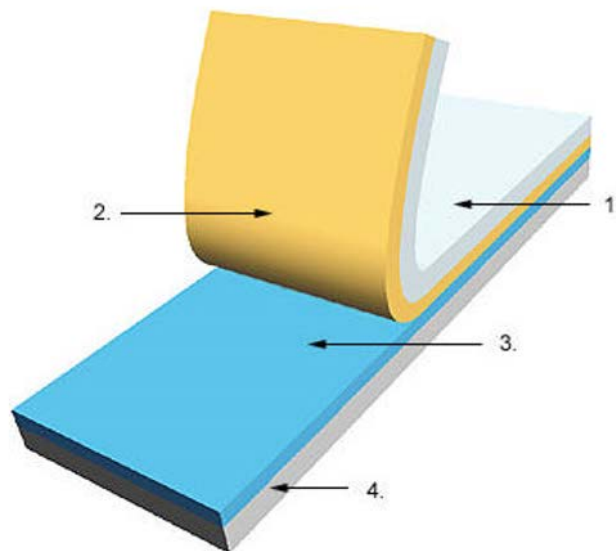
Tässä opinnäytetyössä keskitytään projektin esisuunnittelu ja suunnitteluvaiheisiin erityisesti sähkö- ja automaatiotekniikan näkökannasta.

## 2 TEORIA

Tässä osiossa esitellään tarralaminaatin valmistusprosessi ja työhön olennaisesti liittyvät teoriat. Nämä on jaettu rullausteoriaan ja sähkö/automaatioteoriaan.

### 2.1 Tarralaminaatin valmistusprosessi

UPM Raflatac oy valmistaa tarralaminaattirullia. Valmistusprosessi on jaettu laminointiin ja jälkikäsittelyyn. Tässä opinnäytetyössä keskitytään jälkikäsittelyosuuteen, erityisesti leikattujen rullien uudelleenrullaamiseen. Tarralaminaatin rakenne näkyy alla kuvassa 1. Kuvassa numeroituna 1 = Pintamateriaali, 2 = Liima, 3 = Silikoni ja 4 = Taustamateriaali. (Koskinen, 2007)



KUVA 1. Tarralaminaatin rakenne (Koskinen, 2007)

#### 2.1.1 Laminointi

Laminointivaiheessa valmistetaan 1-2 metriä leveitä laminaattirullia. Laminaatissa käytetyt materiaalit ovat erilaisia papereita ja synteettisiä kalvoja. Laminointi tehdään laminaattorilla, joka muistuttaa rakenteeltaan paperikonetta. Toisen pään aukirullaimeen asetetaan pinta materiaali ja toiseen taustamateriaali.

Taustamateriaaliin levitetään erilaisilla tekniikoilla ensin silikoni ja tämän jälkeen liima. Kuivatuksen ja muiden osaprosessien jälkeen tausta- ja pintaradat kohtaavat laminointinipissä, jossa ne painetaan yhteen ja rullataan tämän jälkeen laminaattorin keskellä sijaitsevalla kiinnirullaimella niin sanotuksi jumborullaksi.

Kun rulla on valmis, se kuljetetaan rullavarastoon. Tämä voi tapahtua automaattisesti kuljettimia käyttäen tai manuaalisesti esimerkiksi trukilla riippuen tehtaasta ja koneesta. Varastointi on usein toteutettu automaattisella hyllystöhissillä. (Koskinen, 2007)

### **2.1.2 Jälkikäsitteily**

Osa tarralaminaatista myydään eteenpäin jumboina tai siirretään leikkuuterminaaleihin leikkuuta varten. Tätä varten tehtailla on jumbopakkauslinjat. Yleensä automaattivarasto syöttää jumborullat pakkalinjalle, jossa ne kääritään ja tarvittaessa asetetaan lavoille. Tämän jälkeen jumbot lastataan rekkoihin.

Iso osa laminaatista myydään kuitenkin leikattuna pienemmiksi rulliksi. Tällöin jumborullat toimitetaan pituusleikkurille. Leikkurilla nimensä mukaisesti leikataan jumborullasta asiakastilauksen mukaiset rullat. Näitä leikattuja rullia kutsutaan bobinoiksi. Tämä voi tapahtua joko tehtailla tai leikkuuterminaaleissa ympäri maailman.

Leikkuun jälkeen bobinat pakataan lavoille ja lähetetään asiakkaalle tai varastoidaan. Pakkaus toteutetaan joko automaattisella pakkauslinjalla tai manuaalisesti erilaisia apuvälineitä käyttäen. (Koskinen, 2007)

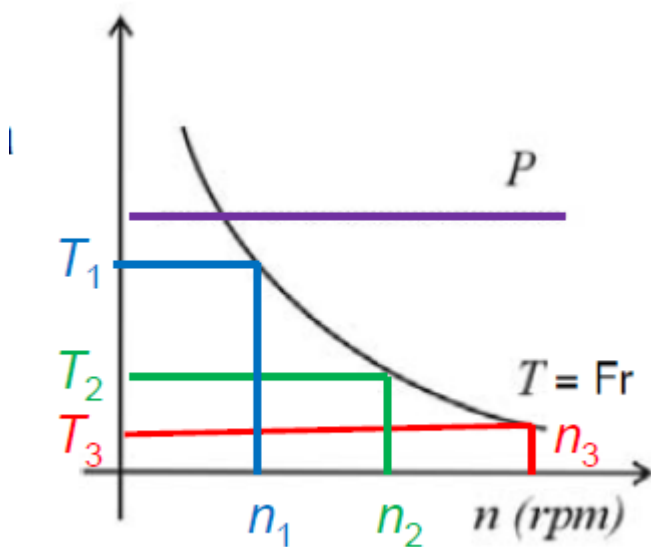
### **2.1.3 Bobinoiden uudelleenrullaus**

Leikkuurullat eivät aina ole täydellisiä erilaisista syistä johtuen tai on mahdollista, että rullat vaurioituvat leikkuuta seuraavan pakkausprosessin aikana. Tällöin leikatut rullat viedään uudelleenrullaukseen, jossa niitä pyritään korjaamaan myyntikelpoiseksi tuotteeksi. Uudelleenrullauskoneilla voidaan myös halkaista tai lyhentää rullia vastaamaan kysyntää. (Koskinen, 2007)

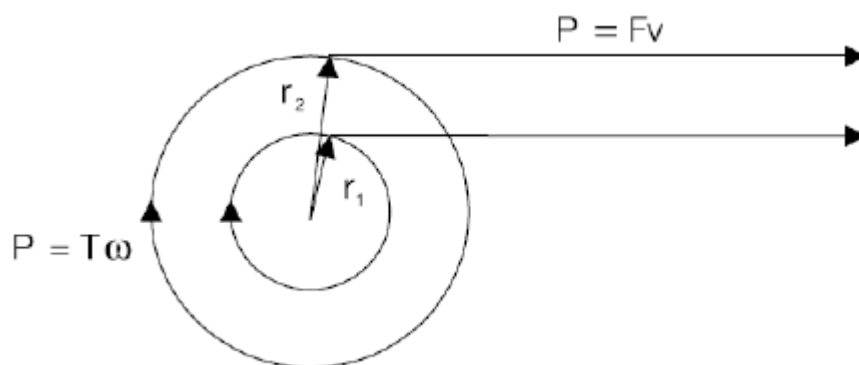
## 2.2 Rullausteoriaa

### 2.2.1 Rullauksen teho

Rullauksessa rullattavan materiaalin vetovoima (ratakireys) ja pintanopeus halutaan usein pitää vakioina. Alla olevista kuvista 2 ja 3 nähdään, että rullaimen teho pysyy vakiona rullan halkaisijan ja kierrosnopeuden muuttuessa. Kuormamomentti pienenee kierrosnopeuden kasvaessa. Rullausta voidaan siis kuvata vakiotehokuormana. (Yli-Rämi, 2017)



KUVA 2. Rullaimen tehon ja momentin käyttäytyminen



KUVA 3. Rullaimen teho kuvattuna,  $P$  = Teho,  $T$  = Momentti,  $F$  = Voima,  $v$  = pintanopeus ja  $w$  = kulmataajuus

## 2.2.2 Rullauksen kuormamomentti

Rullan aiheuttamia kuormamomenteja laskettaessa on tärkeää huomioida kaikki kokonaismomenttiin vaikuttavat asiat. Rullan kokonaiskuormamomenttiin vaikuttavat rataki-  
reyden aiheuttama momentti, sekä rullaimen staattiset ja dynaamiset kitkat. Kiihdytyk-  
sissä ja hidastuksissa rullan momenttiin vaikuttaa lisäksi vielä rullan inertia, eli hitaus-  
massa ja rullaimen mekaaninen inertia. Rullan kokonaiskuormamomentti on kuvattu alla  
olevissa kaavoissa 1-5, joissa:

$M_{tot}$  = Kokonaiskuormamomentti

$M_{kir}$  = Rataki-  
reyden aiheuttama kuormamomentti

$F$  = Voima (N)

$R$  = Rullan säde (m)

$r$  = Rullan hylsyn säde (m)

$M_{JR}$  = Rullan inertian aiheuttama kuormamomentti

$M_{JB}$  = Mekaniikan inertian aiheuttama kuormamomentti

$\frac{d\omega}{dt}$  = Kulmanopeuden muutosnopeus

$M_{kitkat}$  = Kitkojen aiheuttamat momentit

$$M_{tot} = M_{kir} + M_{JR} + M_{JB} + M_{kitkat} \quad (1)$$

$$M_{kir} = F \cdot R \quad (2)$$

$$M_{JR} = \left[ \frac{1}{2} \cdot m(R^2 - r^2) \right] \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

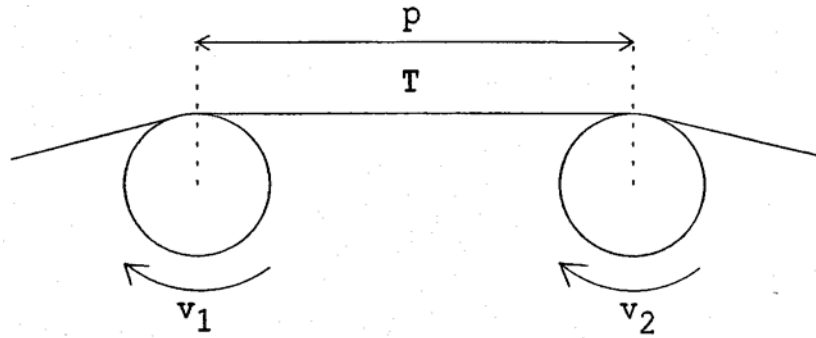
$$M_{JB} = J_B \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

$$M_{kitkat} = M_{statk} + M_{dynk} \quad (5)$$

Mekaaninen inertia johtuu akselista, moottorista ja muista voimansiirrossa käytettävistä mekaanisista osista. Nämä ovat usein taulukkoarvoja. Staattiset ja dynaamiset kitkat saadaan helpoiten selville mittaamalla. Tässä työssä mittaaminen ei ollut mahdollista, joten kitkat arvioidaan. (Kantanen, 2002)

### 2.2.3 Venymä ja ratakiureys

Alla tarkastellaan tilannetta, jossa rata kulkee kahden eri pintanopeutta pyörivän telan välissä, mutta teoria pätee myös, jos telojen tilalla olisi rullaimet. Kireyden luomiseksi materiaalin loppupään pintanopeus täytyy olla suurempi, kuin alkupään.



Kuva 4. Rata kahden pyörivän telan välissä (Diplomityö, Paperiradan...)

Kuvassa 4 ja kaavoissa 6, 7 ja 8:

$E$  = venymä

$v_1$  = Telan 1 pintanopeus

$v_2$  = Telan 2 pintanopeus

$p$  = Telojen välinen etäisyys

$T$  = Ratakiureys telojen välissä

$t$  = aika

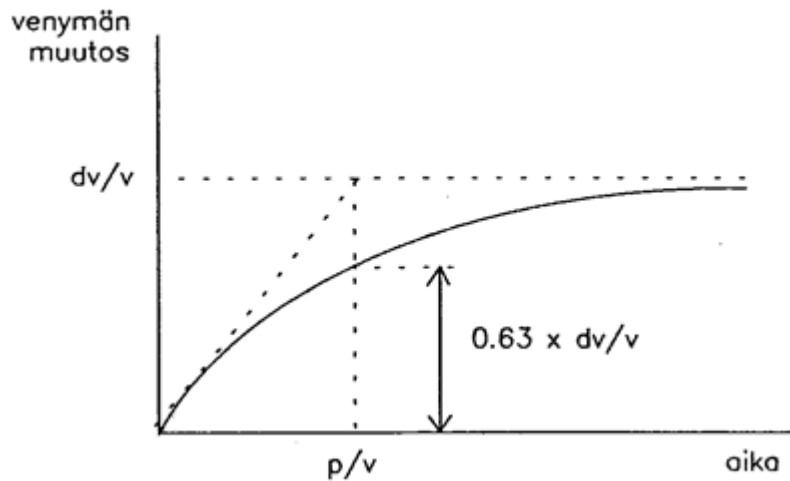
Jos radan ja telojen välinen kosketuskohta oletetaan täysin luistamattomaksi ja radan noudattavan Hooken lakia, voidaan radan venymä kuvata kaavan 6 mukaisesti. Hooken lain mukaan venymä on suoraan verrannollinen venyttävään voimaan. Kaava pätee tilanteissa, jossa  $v_2$  on suurempi kuin  $v_1$ , rata ei roiku ja venymä ei ole niin suuri, että se aiheuttaisi ratakatkon.

$$E = (v_2 - v_1)/v_1 \quad (6)$$

Nopeuden muutoksen vaikutusta venymään ja sen kautta ratakiureyteen voidaan tarkastella olettamalla, että telan 2 pintanopeus muuttuu askelmaisesti  $\Delta v_2$  verran. Tällöin venymä muuttuu eksponentiaalisesti kaavan 7 mukaisesti. (Diplomityö, Paperiradan...)

$$\Delta E = (\Delta v_2/v_2) \cdot \left(1 - e^{(-\frac{v}{p}) \cdot t}\right) \quad (7)$$

Askelmaisen nopeuden muutoksen aiheuttama venymän muutos näkyy alla kuvassa 5. Kuvasta nähdään, että venymän muutos riippuu nopeudenmuutoksen lisäksi myös ajasta. Eli jos nopeuden muutos on nopea hetkittäinen ilmiö, venymä ei ehdi muuttua paljoa.



KUVA 5. Radanvenymän muutos ajan funktiona askelmaisen nopeuden muutoksen jälkeen (Diplomityö, Paperiradan...)

Venymän muutoksen vaikutus ratakireyteen riippuu materiaalin kimmokertoimesta  $e$  kaavan 8 mukaisesti. Kaavassa:

$A$  = Radan poikkipinta-ala

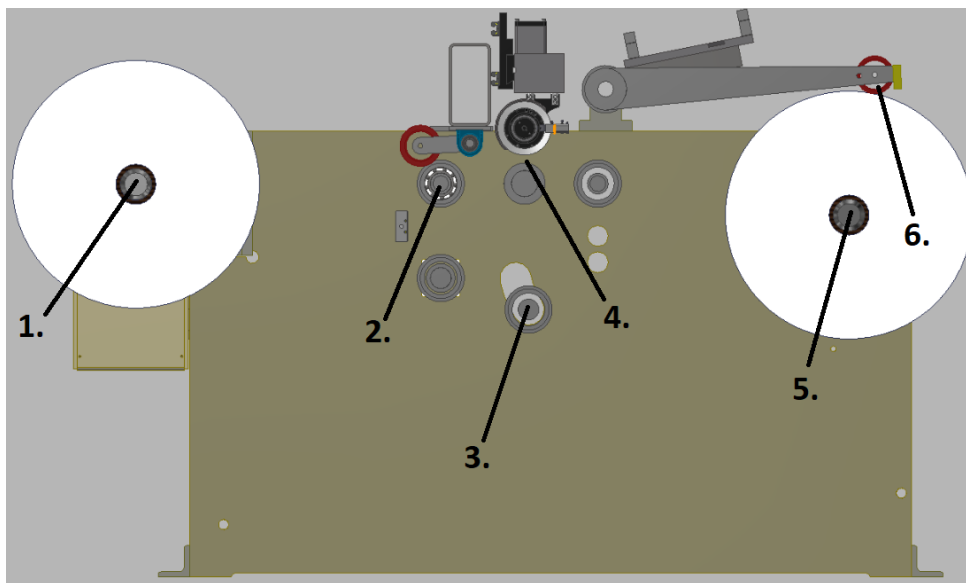
$l$  = radanleveys

$$\Delta T = \frac{e \cdot A}{p \cdot l} \cdot \Delta E \quad (8)$$

## 2.2.4 Uudelleenrullaimen rakenne

Alla olevassa kuvassa 6 on esimerkki uudelleenrullaimen rakenteesta. Kuvassa:

1. Aukirullain
2. Käytöllinen tela, jossa nippitela.
3. Tanssijatela
4. Teräasema
5. Kiinnirullain
6. Kontaktitela



KUVA 6. Esimerkki uudelleenrullaimen rakenteesta

Yksinkertaisimmillaan uudelleenrullauskoneen ratakireys luodaan pyörittämällä kiinnirullainta nopeusohjeen mukaisesti ja jarruttamalla aukirullaimella. Jarrutus voidaan toteuttaa moottorilla tai mekaanisella jarrulla. Tässä tapauksessa ratakireys koko koneen yli on sama. Aukirullainta on mahdollista liikuttaa sivuttaissuunnassa. Tämä liike tapahtuu rataohjaimella, joka koostuu anturista, ohjausyksiköstä ja toimilaitteesta. Toimilaitteella liikutetaan aukirullainta siten, että rata pyritään pitämään anturilla samassa kohdassa.

On myös mahdollista, että koneelle halutaan eri aukirullaus- ja kiinnirullauskireydet. Tämä voidaan toteuttaa lisäämällä rullaimien väliin käytöllinen tela, jossa on nippitela. Tätä kutsutaan pääkäytöksi. Pääkäytöllä pystytään jakamaan kone kahteen eri kireysalueeseen. Aukirullaus- ja kiinnirullauskireyden maksimiero määräytyy nippipaineesta, päätelan ja nippitelan halkaisijoista, telojen päällystemateriaalista ja ajettavasta materiaalista.

Uudelleenrullattavat rullat voivat tietyissä tilanteissa olla pyöreän sijaan elliptisiä. Tämän voi aiheuttaa esimerkiksi väärä rullan kovuusprofiili tai liian pitkä varastointi pystyasennossa. Rullan ollessa elliptinen rata ei tule aukirullaimelta vakionopeudella. Tällöin rata-kireys pyritään pitämään halutussa arvossa tanssijatelan avulla. Yllä kuvatussa rakenteessa tanssijatelaa ei ole sijoitettu optimaalisesti. Sen tulisi olla sijoitettuna pääkäytön ja aukirullaimen väliin, jotta se toimisi halutulla tavalla.

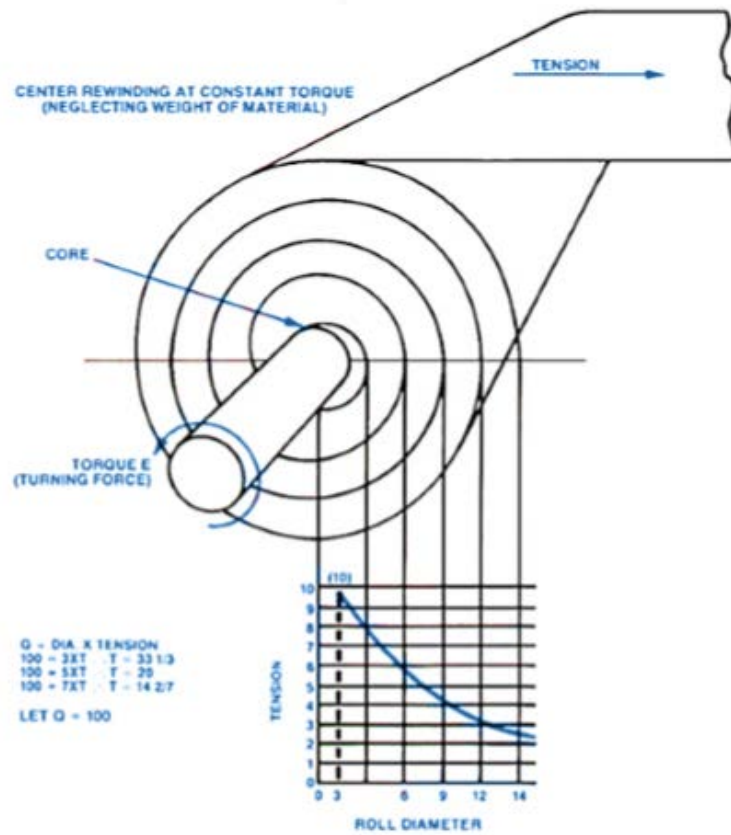
Kiinnirullaimella on yleensä kontaktitela. Telan kontaktipainetta eli voimaa, jolla tela painaa valmistuvaa rullaa vasten voidaan säätää. Kontaktitelalla pyritään poistamaan ilma laminaattikerrosten välistä ja tarvittaessa lisäämään rullan kireyttä.

### **2.2.5 Rullan ominaisuudet**

Rullan hyvyyteen vaikuttaa moni asia. Asiakas odottaa rullilta virheettömiä pinta- ja taustamateriaaleja ja oikeaa määrää päällysteitä. Hylsy tulisi olla keskitetty, rullan pituus ja leveys tulisi olla halutut, ja rullan reunojen tulisi olla suorat. Tärkeimpänä rullan hyvyyden merkkinä yrityksessä pidetään kovuusprofiilia tai jännitysjakaumaa. Tähän vaikuttaa eri asiat eri tyyppisissä rullaimissa. Päivitettävässä koneessa rullan kovuusprofiiliin vaikuttaa rata-kireys ja kontaktipaine.

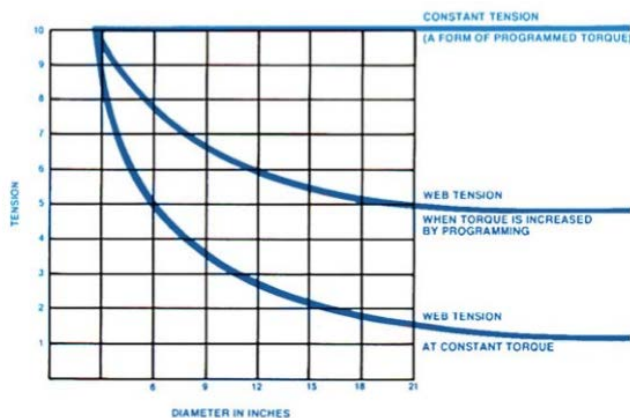
Kontaktipaineella voidaan lisätä rullan jännitystä kiinnirullaimella. Tämä saadaan aikaan painamalla telaa rullaa vasten tietyllä voimalla, jolloin rullan halkaisija pienenee nipin kohdalla. Lopullinen jännitys muodostuu siis kontaktipaineesta ja rata-kireydestä.

Kokemuksen perusteella yrityksessä on todettu, että paras rullan kovuusprofiili saavutetaan, kun rullan säteen suuntainen puristusjännitys pienenee tasaisesti rullan keskeltä pintaa kohden tullessa. Tämä tarkoittaa, että rata-kireyttä heikennetään rullan halkaisijan kasvaessa. Rata-kireyttä heikennetään eri materiaaleille eri tavalla. Esimerkki rullan rakenteesta näkyy kuvassa 7. (Kantanen, 2002)



KUVA 7. Rullankireys eri halkaisijoilla (Kantanen, 2002)

Kuten yllä olevassa kuvaajassa näkyy, heikennetään kireyttä paraabelin muotoisesti halkaisijan kasvaessa. Paraabelin muoto vaihtelee paljon eri materiaalien välillä. Alla olevassa kuvassa 8 on kuvattu ratakiireyden käyttäytyminen eri moottorimomenteilla. Kuvaajassa alin paraabeli kuvaa ratakiireyden käyttäytymistä tilanteessa, jossa moottorin momentti pidetään vakiona. Kaksi ylempää käyrää kuvaavat erilaisia mahdollisia kireyden käyttäytymisiä, kun moottorin momenttia kasvatetaan ohjelmallisesti. Kuvat 7 ja 8 pätevät keskiövetorullaimiin eli rullaimiin, jotka pyörittävät rullaa sen keskiöön sijoitetulla akselilla. (Kantanen, 2002)



KUVA 8. Kireyden käyttäytyminen eri moottorimomenteilla (Kantanen, 2002)

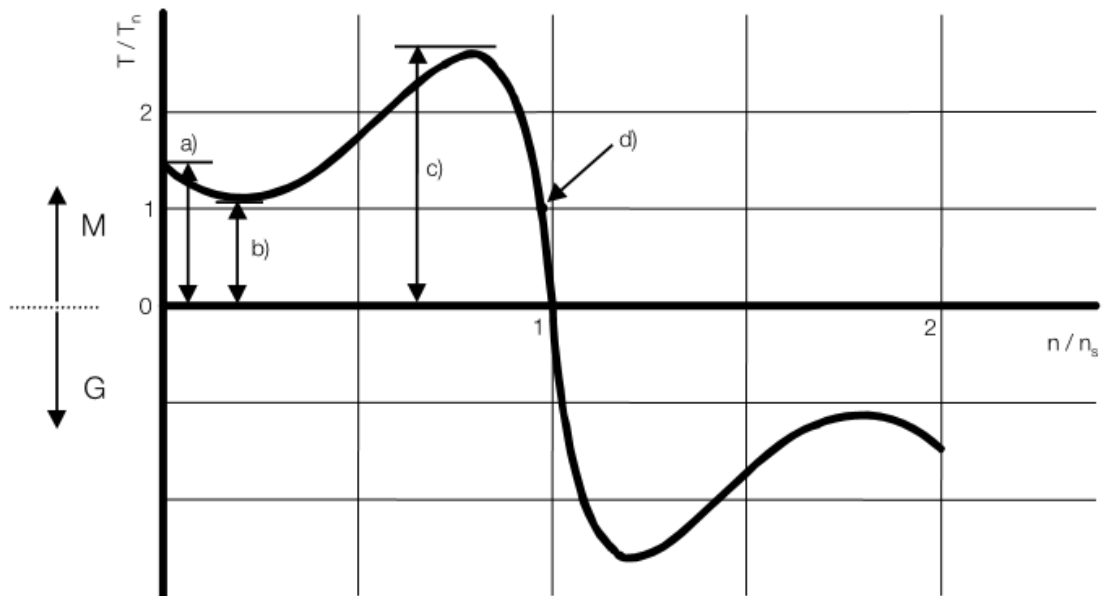
## 2.3 Sähkö- ja automaatiotekninen teoria

Tässä osiossa esitellään päivityksen suunnitteluun olennaisesti liittyvät sähkö- ja automaatiotekniikan teoriat.

### 2.3.1 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori on teollisuudessa käytetyistä moottoreista yleisin. Oikosulkumoottorin pyörimisnopeus riippuu taajuudesta ja moottorin napapariluvusta alla olevan kaavan 9 mukaisesti. Jättämä tarkoittaa magneettikentänpyörimisnopeuden ja moottorin akselinpyörimisnopeuden välistä nopeuseroa ja se riippuu moottoria kuormittavasta vääntömomentista. Moottori toimii moottorina jättämän ollessa positiivinen ja generaattorina jättämän ollessa negatiivinen (Kuva 9). Kaavassa  $n$  = pyörimisnopeus,  $f$  = taajuus,  $p$  = moottorin napapariluku ja  $\Delta n$ =jättämä. (Yli-Rämi, 2017)

$$n = \frac{f}{p} - \Delta n \quad (9)$$



KUVA 9. Oikosulkumoottorin momentin käyttäytyminen jättämän suhteen (Yli-Rämi, 2017)

Oikosulkumoottorin vääntömomentti määräytyy jättämästä. Jättämä taas määräytyy kuormamomentin mukaan. Vääntömomentti voidaan yleisesti ratkaista kaavalla 10, jossa

$T$  = Vääntömomentti

$P$  = Teho

ja  $\omega$  = Kulmanopeus

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (10)$$

Vaadittu moottorin momentti voidaan laskea kaavalla 11, jossa

$T_m$  = Moottorin vääntömomentti

$T_k$  = Kuormamomentti

$J$  = Hitausmassa

ja  $\frac{d\omega}{dt}$  = Kulmakiiktyvyys

$$T_m - T_k = J \frac{d\omega}{dt} \quad (11)$$

Sähkömoottorit voidaan kytkeä kuormaan suoraan tai vaihteen / välityksen kautta. Vaihtetta tai välitystä käytettäessä tulee sen hyötysuhde huomioida moottorin momentti laskennassa. Alla olevilla kaavoilla 12 ja 13 voidaan laskea vaihteen / välityksen vaikutus vääntömomenttiin ja hitausmassaan. Pyörimisnopeus muuttuu suoraan välityssuhteen mukaisesti. (Yli-Rämi, 2017)

Kaavoissa:

Alaindeksi 1 = Moottorin puoli

Alaindeksi 2 = Kuorman puoli

$T$  = Vääntömomentti

$J$  = Hitausmassa

$\frac{n_2}{n_1}$  = Välityssuhde

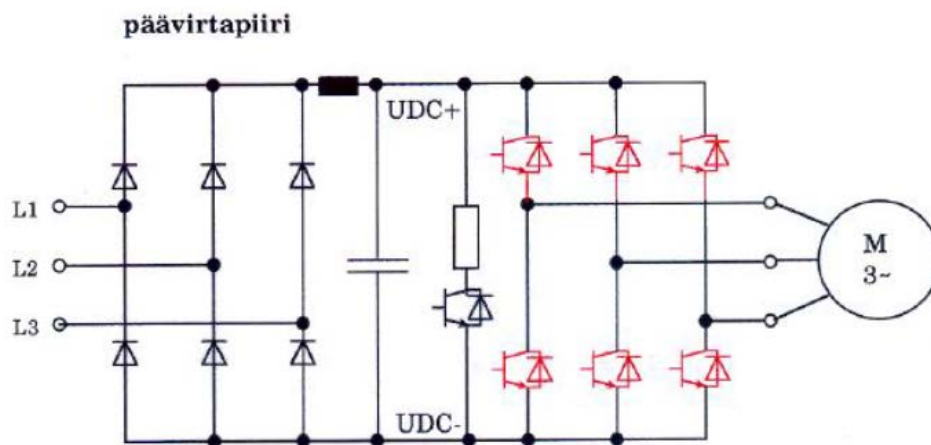
$$T_1 = \frac{T_2}{\eta} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (12)$$

$$J_1 = J_2 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad (13)$$

### 2.3.2 Säädetty sähkömoottorikäyttö

Suurella osalla sovelluksia moottorin vakionopeus ei riitä vaan sovellus vaatii vaihtelevaa pyörimisnopeutta. Vaihtelevat nopeudet voidaan toteuttaa sähkömoottorilla portaittain erilaisilla vaihteistoilla tai portaattomasti taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajan käyttämisellä on monia etuja. Näitä ovat portaattoman nopeudensäädön lisäksi, energiansäästö, moottorin suojaaminen yli- ja alivirroilta ja monimutkaisten säätöjen toteuttaminen.

Taajuusmuuttajalla voidaan ohjata sähkömoottorin pyörimisnopeutta tai vääntömomenttia. Tämä tapahtuu säätämällä moottorille syötetyn jännitteen taajuutta ja amplitudia. Taajuusmuuttaja voidaan rakenteellisesti jakaa neljään osaan. Näitä ovat tasasuuntaaja, välipiiri, vaihtosuuntaaja ja ohjauspiiri. Taajuusmuuttajan rakenne on kuvattu alla kuvassa 10.



KUVA 10. Taajuusmuuttajan rakenne yksinkertaistettuna (Yli-Rämi, 2017)

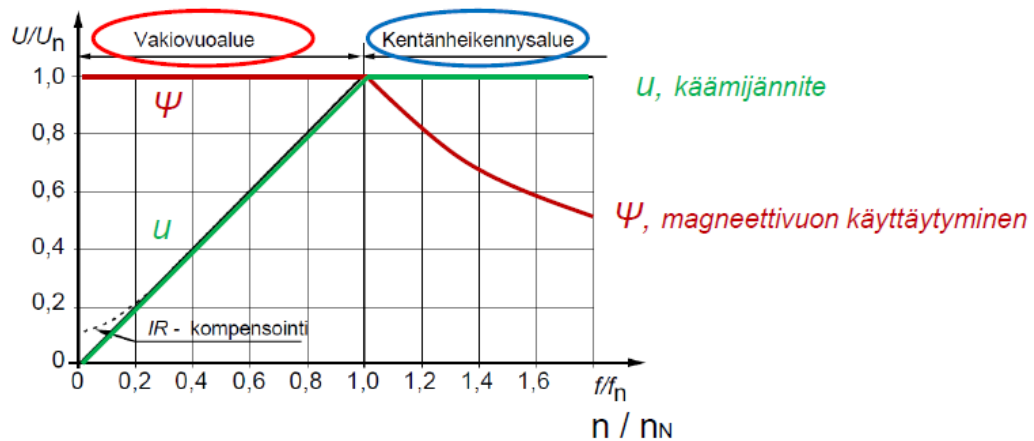
Sinimuotoisesta verkkojännitteestä tehdään ensin sykkivää tasajännitettä tasasuuntaajalla. Tasajännite vaatii suodatusta ja tätä varten välipiiriin on kytketty kondensaattoreita. Kondensaattorit toimivat myös energiavarastoina. Lopuksi jännite vaihtosuunnataan haluttuun taajuuteen ja amplitudiin ja syötetään moottorille. (Yli-Rämi, 2017)

Sähkömoottorin pyörimisnopeuden kasvaessa ja vakiovirran synnyttämän magneettivuon pysyessä vakiona kasvaa moottorin käämijännite suoraan verrannollisesti pyörimisnopeuteen kaavan 14 mukaisesti. Kaavassa  $U$  = käämijännite,  $f$  = taajuus ja  $\psi$ =magneettivuo.

$$U = f \cdot \psi \quad (14)$$

Käämin nimellisjännitettä ei voida ylittää. Tästä johtuen, jos moottoria pyöritetään nimellistä suuremmilla nopeuksilla, tulee magneettivuota eli magnetointivirtaa pienentää. Oikosulkumoottorin käämijännitteen ja magneettivuon käyttäytyminen taajuuden suhteen näkyy kuvassa 11.

Moottorin toiminta-alue, jossa käämijännite kasvaa ja magneettivuo pysyy vakiona, kutsutaan vakiovoalueeksi tai vakiomomenttialueeksi. Moottorin toiminta-alue, jossa käämijännite pysyy vakiona ja magneettivuo heikkenee, kutsutaan kentänheikkennysalueeksi tai vakiootehoalueeksi. (Yli-Rämi, 2017)



KUVA 11. Oikosulkumoottorin käämijännitteen ja magneettivuon käyttäytyminen taajuuden suhteen (Yli-Rämi, 2017)

Moottorin tehon käyttäytyminen pyörimisnopeuden suhteen nähdään alla kuvassa 12. Teho kasvaa lineaarisesti jännitteen kasvaessa vakiovoalueella ja pysyy vakiona, kun siirrytään kentänheikennysalueelle kaavan 15 mukaisesti. Kaavassa

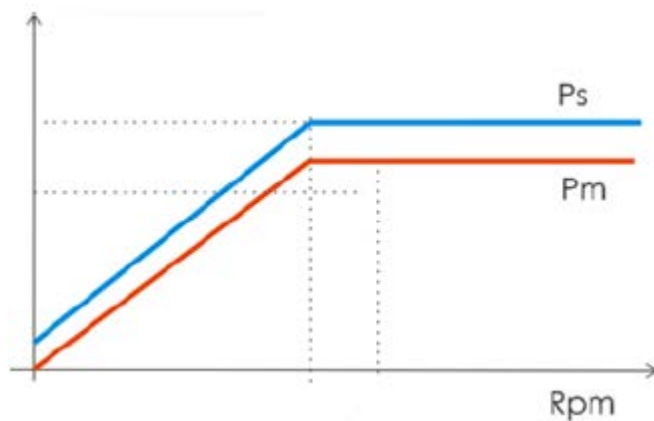
$P$  = Sähköinen pätöteho

$U$  = Jännite

$I$  = Sähkövirta

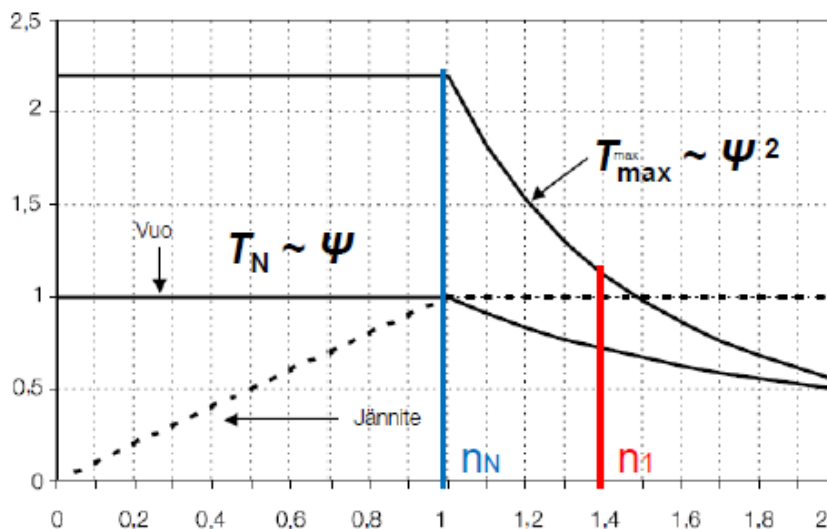
$\cos \varphi$  = Moottorin tehokerroin

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (15)$$



KUVA 12. Oikosulkumoottorin sähköisen- ja mekaanisenteon käyttäytyminen (Yli-Rämi, 2017)

Moottorin nimellinen momentti laskee suoraan verrannollisesti magneettivuohon ja moottorin maksimimomentti laskee suoraan verrannollisesti magneettivuon neliöön kentänheikennysalueella (Kuva 13). (Yli-Rämi, 2017)

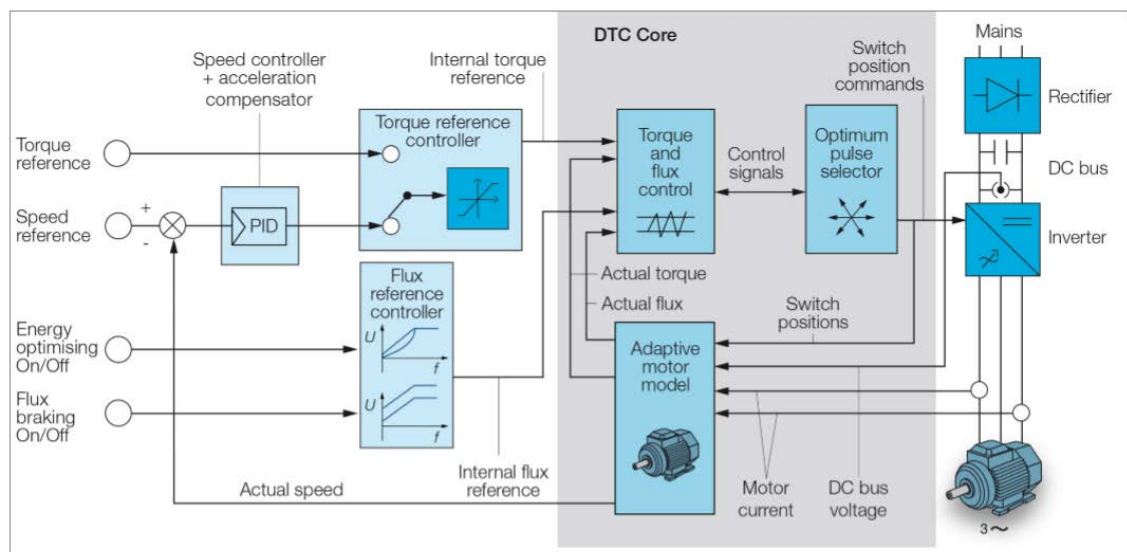


KUVA 13. Oikosulkumoottorin nimellis- ja maksimimomentin käyttäytyminen (Yli-Rämi, 2017)

### 2.3.3 Taajuusmuuttajan DTC – ohjauksen toimintaperiaate

Taajuusmuuttajat ohjaavat työssä käytettyjä moottoreita käyttäen DTC – tekniikkaa (Direct Torque Control). Säädettävät suureet ovat tällöin moottorin momentti ja magneettivuon. DTC:n toiminta periaate on kuvattu alla kuvassa 14. Taajuusmuuttajan sisällä on kaskadisäätöpiiri, johon kuuluu pääsäätimenä toimiva nopeussäädin ja apusäätimenä toimiva momenttisäädin. Nopeussäädin muodostaa momenttisäätimen asetusarvon nopeuden asetusarvon ja takaisinkytkennän perusteella. Momenttisäätimen muodostama momenttiohje vietään sisäiseen momentinsäätöpiiriin.

DTC:n toiminta vaatii moottorin ID – ajon, jolla määritetään moottorimalli. Moottorivirran, tasajännitevälipiirijännitteen ja kytkentätransistorien asentojen avulla pystytään laskemaan tarkasti moottorin momentin ja magneettivuon oloarvot. Näitä verrataan sisäiseen momentti ja magneettivuohjeisiin ja kytkentätransistoreilla tehdään tarvittavat kytkentämuutokset halutun vuon ja momentin saavuttamiseksi. Moottorin jännitteeseen ei kiinnitetä huomiota. (ABB, DTC)



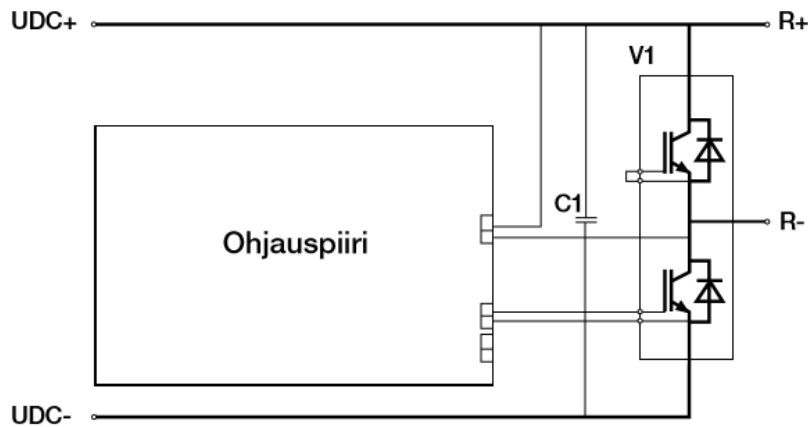
KUVA 14. DTC – ohjauksen periaatteellinen lohkokkaavio (ABB, DTC)

### 2.3.4 Taajuusmuuttajien jarrutusenergia

Moottorin jättämän ollessa positiivinen eli moottorin jarruttaessa se toimii generaattorina ja syöttää sähkövirtaa takaisin taajuusmuuttajalle. Tämä virta kulkeutuu taajuusmuuttajan tasavirtavälipiiriin, jossa jännite alkaa nousta. Välipiirissä olevat komponentit kestävät vai tietyn suuruista jännitettä, joten jännitteen nousu tulee rajoittaa. Tämä voidaan yksittäiselle moottorikäytölle tehdä usealla tavalla.

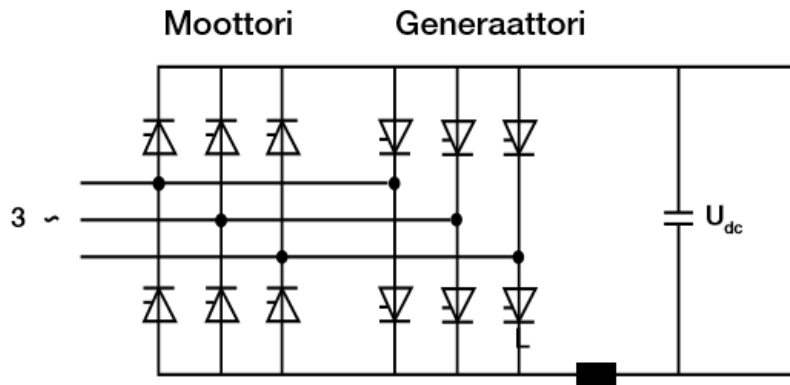
Ensimmäinen tapa on, että taajuusmuuttaja rajoittaa jarrutusmomenttia pitääkseen välipiirin jännitteen tietyissä rajoissa. Tätä menetelmää kutsutaan ylijännitesäädöksi ja useimmiten se on vakio ominaisuus taajuusmuuttajassa. Ylijännitesäätöä käytettäessä jarrutusprofiili ei kuitenkaan ole käyttäjän määriteltävissä.

Jännitteen nousua voidaan myös rajoittaa johtamalla jarrutusenergia jarruvastukseen. Tätä varten taajuusmuuttajassa tulee olla jarrukatkoja. Jarrukatkoja on elektroninen kytkin, joka johtaa välipiirin tasajännitettä vastukselle. Jarrukatkoja aktivoituu automaattisesti, kun välipiirin jännite ylittää tietyn rajan. (ABB, Jarrutus)



KUVA 15. Jarrukatkojan kytkentäkaavio (ABB, Jarrutus)

Taajuusmuuttajalla on mahdollista myös siirtää jarrutusenergia takaisin verkkoon. Tämä voidaan toteuttaa korvaamalla taajuusmuuttajan dioditasasuuntaussillat kahdella vastarinnankytketyllä tyristoritasasuuntaajalla (Kuva 16). Tällöin käytettyä tasasuuntaussiltaa voidaan vaihtaa moottorin toimiessa moottorina tai generaattorina.



KUVA 16. Taajuusmuuttaja tyristoritasasuuntaussilloilla (ABB, Jarrutus)

Toinen tekniikka, jolla voidaan syöttää moottorin jarrutusenergiaa takaisin verkkoon, on IGBT – pohjainen verkkoon jarruttaminen. Sähköverkossa on monia generaattoreita ja kuormituspisteitä, jotka on kytketty yhteen. Taajuusmuuttajan kytkentäpisteessä voidaan olettaa, että verkko on yksi generaattori, jolla on kiinteä taajuus. Taajuusmuuttajan syöttöpuolelle kytkettävää IGBT – tulosiltaa tai verkkosuuntaajaa voidaan ajatella kuristimen kautta generaattoriin kytkettynä vaihtovirtajärjestelmänä. Kahden vaihtovirta järjestelmän välinen tehonsiirto voidaan laskea kaavalla 16. Kaavassa

$U_1$  = Sähköverkon Jännite

$U_2$  = Verkkosuuntaajan Jännite

$X$  = Verkkosuuntaajan induktiivinen reaktanssi

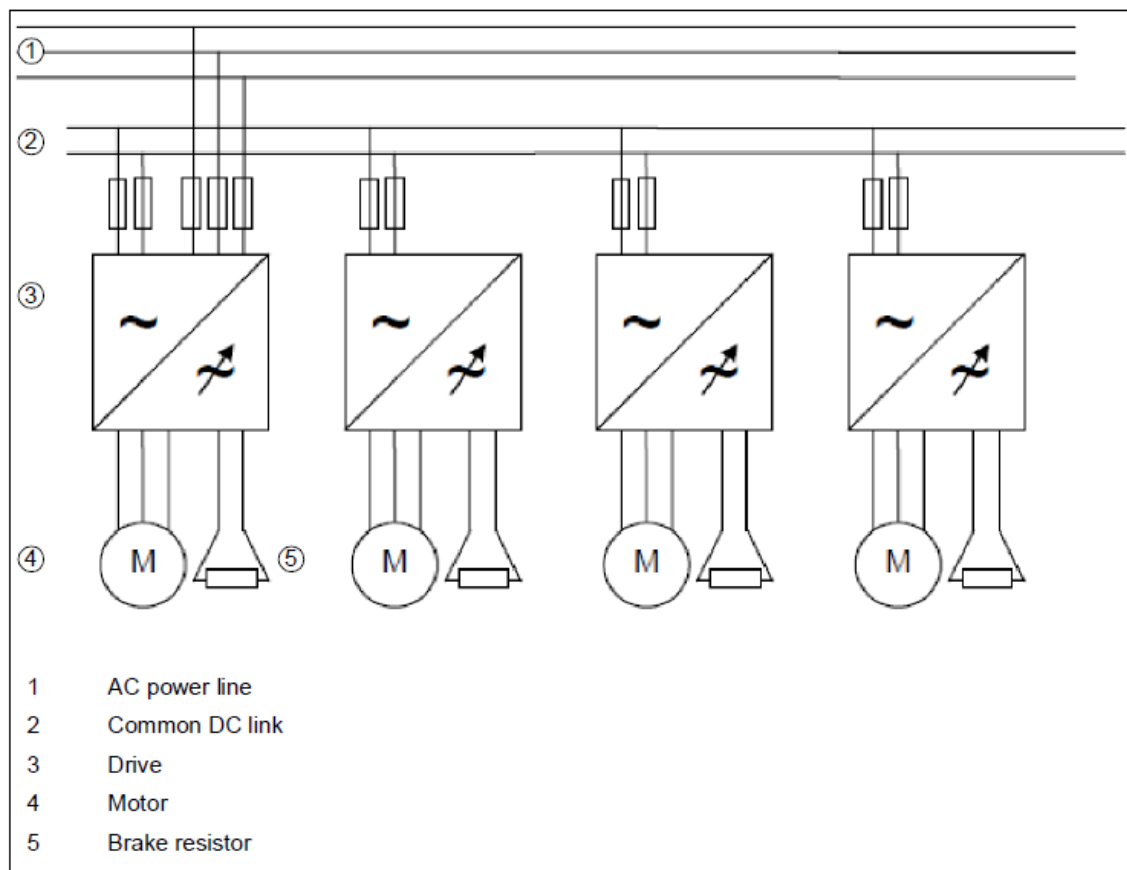
$\varphi$  =  $U_1$  ja  $U_2$  välinen vaihesiirtokulma

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{X} \cdot \sin\varphi \quad (16)$$

Kaavasta nähdään, että järjestelmien välillä on oltava vaihesiirtoa. IGBT – tulosilta säätelee verkon ja taajuusmuuttajan välistä vaihesiirtoa ja täten säätelee järjestelmien välistä tehonvirtausta. (ABB, Jarrutus)

Jos prosessissa käytetään useita moottoreita, joista osa jarruttaa eli generoi ja osa toimii moottorina, on taajuusmuuttajien tasajännitevälipiirit mahdollista kytkeä yhteen. Tällöin generoiva moottori syöttää tasajännitevälipiiriä ja moottoreina toimivat moottorit voivat käyttää kyseisen energian hyödyksi. Tällöin voidaan huomattavasti vähentää verkosta otettavaa sähkötehoa.

Jos sovelluksessa on tilanteita, joissa jarrutusteho on suurempi kuin moottoriteho tulee yhteiseen välipiiriin kytkeä yksi tai useampi jarrukatkoja ja jarruvastus. Jokainen yhteiseen tasavirtapiiriin kytkettävä taajuusmuuttaja on suojattava erillisillä tasajännite sulakkeilla. Sähkönsyöttö voidaan tuoda yhteen tai useampaan taajuusmuuttajaan. Jos syöttö tuodaan vain yhdelle taajuusmuuttajalle, on kyseisen taajuusmuuttajan maksimivirta tällöin koko piirin virtaa rajoittava tekijä eikä verkosta voida ottaa tätä suurempaa virtaa. (ABB, Jarrutus)



KUVA 17. Taajuusmuuttajat yhteisellä tasajännite välipiirillä (ABB, Jarrutus)

### 2.3.5 Suojalaitteiden ja kaapeleiden mitoitus

Sähkökaapeleiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon ympäristön ja käytettävien laitteiden asettamat vaatimukset kuten halogeenivapaus, palo-ominaisuudet tai EMC – suojaus. Kaapelin tulee kestää ympäristöstä aiheutuvat kuormitukset kuten lämpötila, kosteus tai mekaaninen rasitus.

Kaapelit mitoitetaan niissä kulkevan virran, ympäristöstä aiheutuvien korjauskertoimien ja asennustavan perusteella. Työn mitoituksissa käytetyt taulukkoarvot ja eri asennustapojen selitykset näkyvät työn liitteessä 4. Kaapelin aiheuttama jännitteenalenema tulee olla sallituissa rajoissa. Pienjännitejakojohtoilla sallittu arvo on 3%. Siirtoetäisyyden ollessa alle 20km voidaan jännitteenalenema laskea riittävällä tarkkuudella kaavalla 17. (ABB, Käsikirja luku 18) Kaavassa:

$U_a$  = Jännitealenema

I = Johtimen virta

R = Johtimen resistanssi

X = Johtimen reaktanssi

$\varphi$  = Jännitteen ja virran välinen vaihesiirtokulma

$$U_a = I(R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi) \quad (17)$$

Kun kaapelia suojataan ylivirralla ja oikosululta sulakkeella, tai johdonsuojakytkimellä tulee suojalaitteen koko valita kuvan 18 mukaisesti. Suojalaitetta ei tällöin voida mitoittaa suoraan kuormitusvirran mukaisesti, koska laitteen on suojeltava kaapelia liialliselta lämpenemiseltä ja oikosululta.

Johdon sallittu kuormitusvirta vähintään / A	Suojaavan sulakkeen tai L-tyyppisen johdosuojakytkimen suurin sallittu nimellisvirta / A
14	10
20	16
25	20
32	25
41	35
58	50
73	63
93	80
116	100
146	125
185	160
232	200
292	250
366	315
464	400
583	500
733	630
930	800
1170	1000
1460	1250

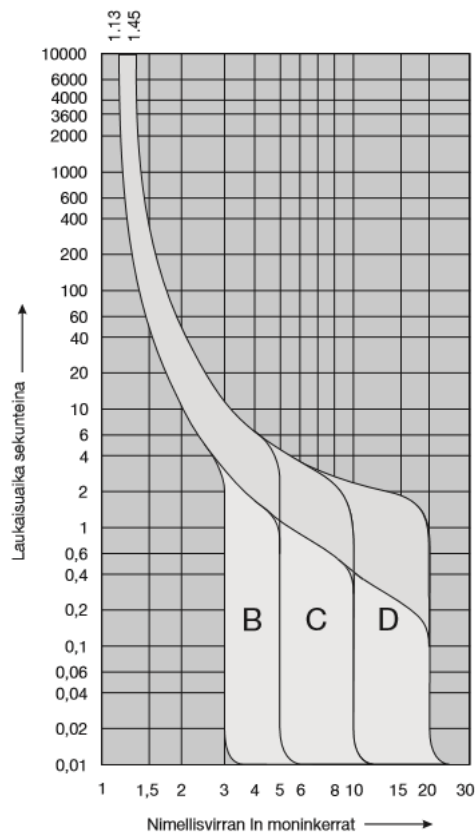
KUVA 18. Johdosuojakytkimen tai sulakkeen käyttö eri kaapelin sallituilla kuormitusvirroilla (ABB käsikirja, luku 19)

Kaapelia voidaan suojata ylivirralla myös muilla keinoilla. Esimerkiksi moottorilähtöihin kytketään erillinen ylikuormitussuoja tai lämpörele. Tällöin sulakkeen tai johdosuojakytkimen ainut tehtävä on suojata piiriä oikosululta. Kyseisessä tilanteessa suojalaite voidaan mitoittaa kuvan 19 taulukon mukaisesti. (ABB käsikirja, luku 19)

Johdinpoikkipinta Cu mm <sup>2</sup>	Johdinpoikkipinta Al mm <sup>2</sup>	Suojaavan sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A
1,5	2,5	25
2,5	-	35
6	6	50
10	10	63
16	16	80
25	25	125
35	35	160
50	50	200
70	70 (95)	250
95	120	315
120	150	400
150	185	500
185	240	630
240	300	800
	400	1000

KUVA 19. Oikosulkusuoja toimivan sulakkeen tai johdosuojakytkimen maksimi nimellisvirta (ABB käsikirja, luku 19)

Oikosululta suojaavan suojalaitteen katkaisukykyyn on oltava riittävä. Alla olevassa kuvassa on kuvattu eri tyyppisten johdosuojakytkimien laukaisukäyrät. Kuvassa 20 X – akselilla on nimellisvirran monikerrat ja Y – akselilla laukaisuaika sekunteina. Käytetty laukaisukäyrä riippuu kuormituksen luonteesta.



KUVA 20. B- C- ja D-tyyppin johdonsuojakytkimien laukaisukäyrät (ABB käsikirja, luku 19)

Jotta voidaan varmistua, että suojalaitteet toimivat vikatilanteessa vaaditussa ajassa tulee määrittää pienin mahdollinen oikosulkuvirta suojalaitteella. Tämän oikosulkuvirran tulee ylittää työn liitteessä 4 esitetty minimi oikosulkuvirta valitulle suojalaitteelle. Toisaalta oikosulkuvirta ei saa myöskään ylittää suojalaitteen katkaisukykyä. Johdonsuojakytkimien katkaisukyky on yleensä 6 – 10kA. Oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla 18, jossa

$I_k$  = Oikosulkuvirta

$c$  = Jännitteenalenemasta aiheutuva korjauskerroin

$U$  = Pääjännite

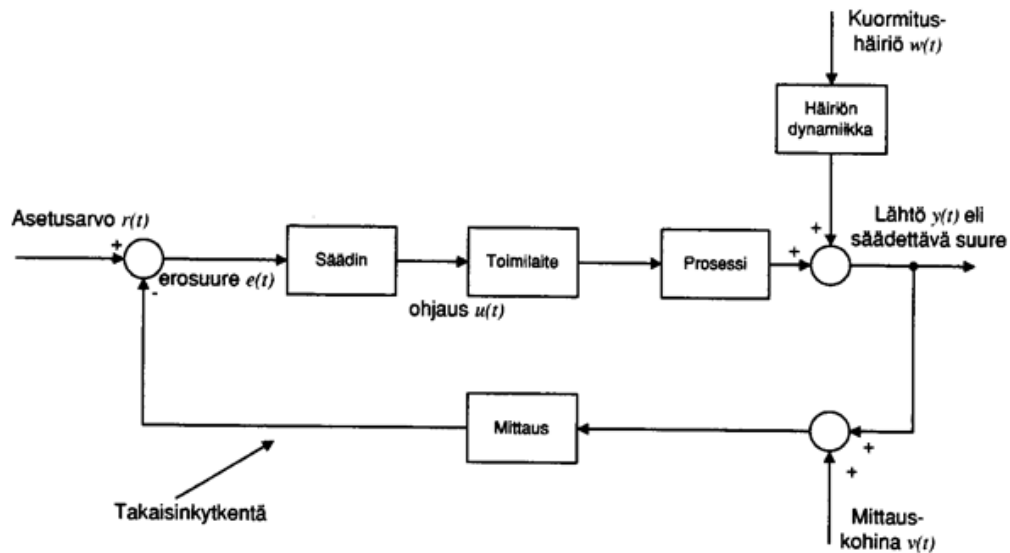
$Z$  = Piirin kokonaisimpedanssi

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (18)$$

Suojalaitteeseen vaikuttava pienin mahdollinen oikosulkuvirta toteutuu oikosulun tapahtuessa kauimmaisessa mahdollisessa pisteessä suojalaitteelta katsoen. Tällöin johtimista aiheutuva impedanssi on suurimmillaan. Oikosulkuvirta tarkastetaan asennusvaiheessa myös mittaamalla. (ABB käsikirja, luku 19)

### 2.3.6 Säätiipiirit, PID-säädin ja säätimen viritys

Alla olevassa kuvassa 21 näkyy tavanomainen takaisinkytkettysäätöpiiri. Asetusarvon ja mitta-arvon erotuksesta muodostetaan erosuure ( $e$ ), joka viedään säätimelle. Säädin muodostaa erosuureen perusteella ohjaussuureen ( $u$ ), joka ohjaa toimilaitetta ja sitä kautta prosessia.



KUVA 21. Takaisinkytkettysäätöpiiri lohkokkaavio (Säätötekniikan perusteet, OAMK)

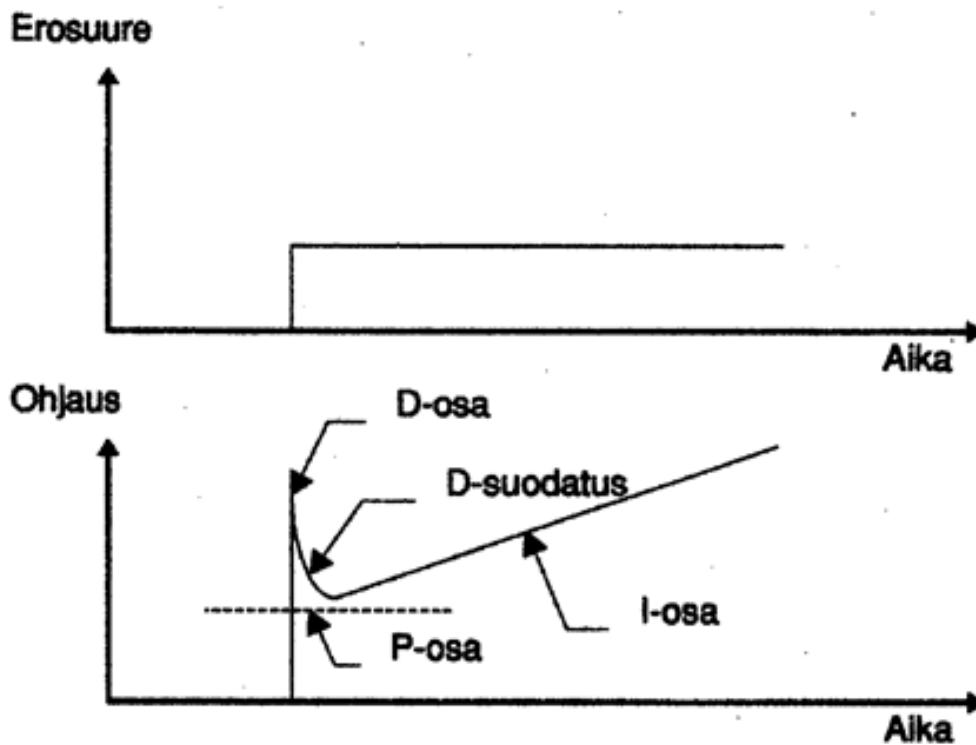
PID – säätimellä pystytään toteuttamaan n.90% käytössä olevista säätöpiireistä. Säädin muodostaa ohjauksen erosuureesta vahvistuksen ( $K_p$ ), integrointiajan ( $T_i$ ) ja derivointiajan ( $T_d$ ) perusteella alla olevan kaavan 19 mukaisesti.

$$u(t) = K_p \cdot \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (19)$$

Kuten kaavasta nähdään, koostuu PID – säädin kolmesta eri komponentista. P, I ja D. Säätimen P – osan vaikutus ohjaukseen on suoraan vahvistuksen  $K_p$  mukainen. Pelkkää P – säätöä käytettäessä, säätöpiiriin jää pysyvä säätöpoikkeama. (Säätötekniikan perusteet, OAMK)

Integroiva osa saa aikaan P-osan kanssa yhtä suuren muutokset integrointiajan  $T_i$  määrittämässä ajassa. Integroiva osuus siis laskee erosuureen pinta-alaa kumulatiivisesti yhteen. Säätimen integroivalla osalla päästään eroon pysyvästä säätöpoikkeamasta. Useimmissa sovelluksissa pärjätään käyttämällä pelkästään säätimen P- ja I-osia. Tällöin käytössä on siis PI – säädin.

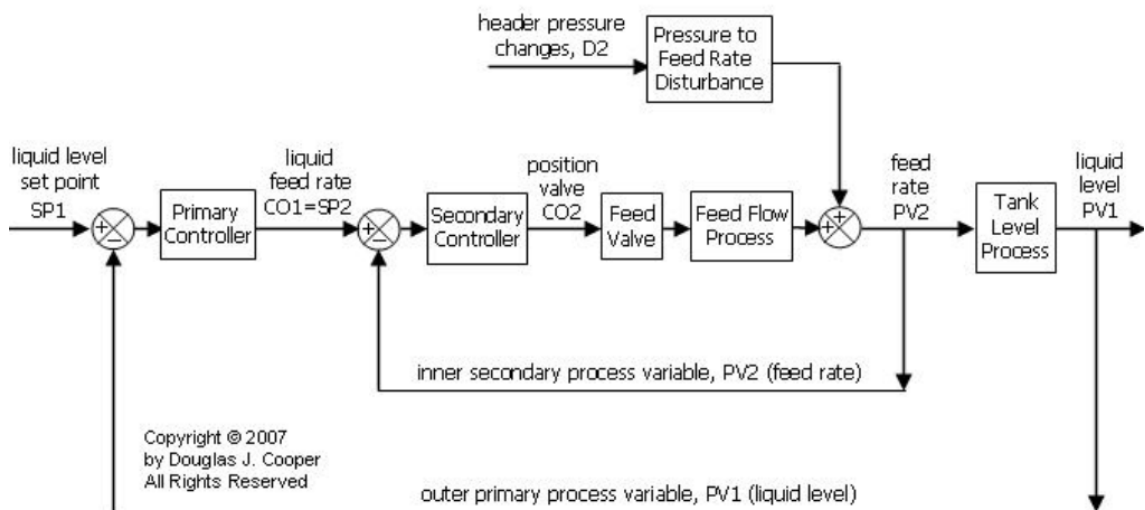
Derivointiosa eli D – osa muodostaa ohjauksen erosuureen muutosnopeuden pohjalta. Tämä näkyy askelmaisessa erosuureen muutoksessa ohjauksen nopeana piikkinä. Teoriassa piikki olisi kytkentähetkellä äärettömän suuri, mutta käytännössä se rajoitetaan suodatusajalla. Säätimen eri osien vaikutukset pysyvällä erosuureen askelmuutoksella on kuvattu alla kuvassa 22. (Säätötekniikan perusteet, OAMK)



KUVA 22. Säätimen ohjauksen käyttäytyminen erosuureen muuttuessa askelmaisesti (Säätötekniikan perusteet, OAMK)

Kuvassa 21 esiteltiin takaisinkytketty säätöpiiri. Säädin kytkentöjä on monia erilaisia, tähän työhön olennaisesti liittyvä takaisinkytkettysäätö ja kaskadisäätö. Muita yleisesti käytettyjä säädinkytkentöjä ovat mm. myötäkytkettysäätö ja suhdessäätö. Kaskadisäädössä pääsäätimen ohjaussignaali kytketään apusäätimen asetusarvoksi. Pääsäädin säätää prosessia ja apusäädin toimilaitetta. Kaskadisäädön suurin hyöty on nopea muutoksiin ja poikkeustilanteisiin reagointi.

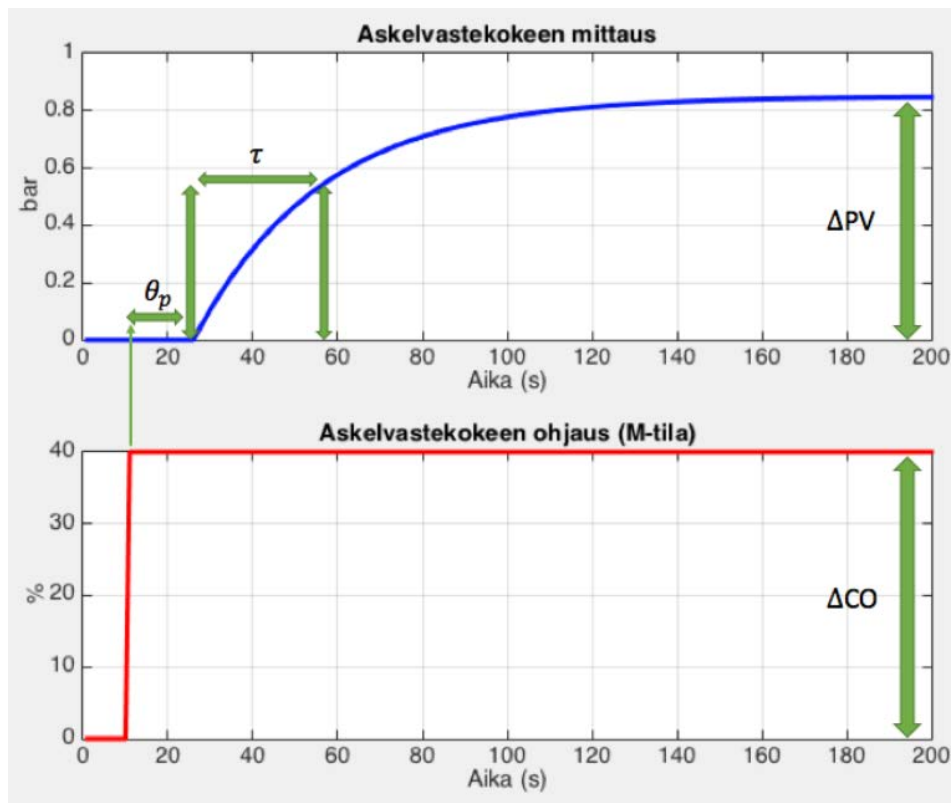
Esimerkki kaskadisäädön lohkokaaviosta näkyy alla kuvassa 23. Esimerkissä prosessin säädettäväsuure on säiliön pinnankorkeus. Pinnankorkeuteen vaikutetaan tulovirtauksella. Pääsäädin antaa asetusarvon apusäätimelle pinnankorkeuden asetusarvon ja takaisinkytkennän perusteella. Apusäädin säätää virtauksen halutuksi saamansa asetusarvon ja virtauksen takaisinkytkennän avulla.



KUVA 23. Kaskadisäätöpiirin lohkokaavio (Säätötekniikan perusteet, OAMK)

Säätöpiirien virittämiseen on tarjolla useita eri menetelmiä. Näistä yleisimmin käytössä ovat askelvaste- ja värähtelyrajamenetelmä. Näitä menetelmiä kutsutaan myös Ziegler-Nichols menetelmiksi.

Askelvastemenetelmässä säädin asetetaan käsiajolle ja säätimen ohjaukseen toteutetaan askelmainen muutos. Ohjauksen muutos aiheuttaa prosessissa askelvasteen, joka voidaan havaita mittausarvosta. Askelvasteesta lasketaan vahvistus ( $K = \Delta P_v / \Delta CO$ ), aikavakio ( $\tau$ ) ja viive ( $\theta$ ). Alla on esimerkki ensimmäisen kertaluvun prosessille tehdystä askelvastekokeesta (Kuva 24). (Säätötekniikan perusteet, OAMK)



KUVA 24. Esimerkki askelvastekokeesta (Askelvaste, verkkosivu)

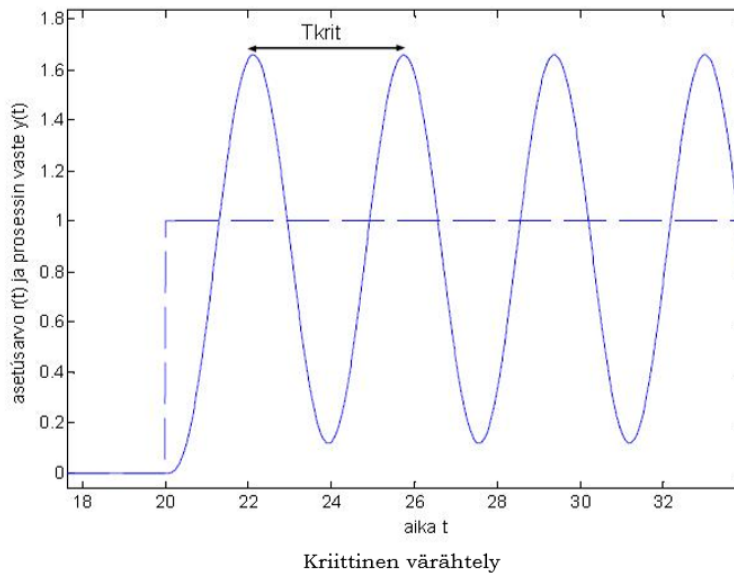
Kokeen perusteella saadut arvot voidaan sijoittaa taulukossa 1 näkyviin kaavoihin ja saadaan eri säädin tyypeille viritysparametrit. Arvot vaativat usein vielä hienosäätöä virityksen jälkeen. Yleisesti pelkkä vahvistuksen muuttaminen riittää. Jos säätöpiiri värähtelee liikaa, tulee vahvistusta pienentää. Jos taas säätöpiirin asettuminen kestää liian kauan tulee vahvistusta kasvattaa. (Säätötekniikan perusteet, OAMK)

TAULUKKO 1. P, PI, ja PID-säätimien viritysparametrien laskentakaavat Ziegler - Nichols askelvaste menetelmää käytettäessä. (PID-Viritys)

	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\tau / (K\theta)$		
PI	$0,9 \tau / (K\theta)$	$3\theta$	
PID	$1,2 \tau / (K\theta)$	$2\theta$	$\theta / 2$

Värähtelyrajamenetelmässä (kriittisenvahvistuksen menetelmä) säädin muutetaan P-säätimeksi. Vahvistus kannattaa aluksi asettaa melko pieneksi. Säädin kytketään automaattiohjaukselle ja asetusrvoon tehdään muutos. Prosessin ja mittausarvon pitäisi alkaa värähtelemään vahvistuksen ollessa sopiva. Jos värähtelyä ei havaita tulee vahvistusta kasvattaa ja jos värähtelyn amplitudi kasvaa jaksoittain tulee vahvistusta pienentää.

Menetelmän tarkoituksena on etsiä kriittinen vahvistus. Kriittinen vahvistus on vahvistuksen arvo, jolla prosessi värähtelee vakio amplitudilla. Kriittisen vahvistuksen ( $K_{kr}$ ) arvon lisäksi mittausarvosta tulee selvittää kriittisenvärähtelyn jaksonaika ( $T_{kr}$ ). Kriittinen värähtely on kuvattu kuvassa 25. Kokeen perusteella saadut arvot sijoitetaan taulukossa 2 näkyviin kaavoihin. Joista saadaan laskettua viritysparametrit. Myös tällä menetelmällä parametrit vaativat todennäköisesti hienosäätöä. (Säätötekniikan perusteet, OAMK)



KUVA 25. Kriittinen värähtely (PID-Viritys, verkkosivu)

TAULUKKO 2. P, PI, ja PID-säätimien viritysparametrien laskentakaavat Ziegler - Nichols värähtelymenetelmää käytettäessä

	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$K_{kr} / 2$		
PI	$K_{kr} / 2,2$	$T_{kr} / 1,2$	
PID	$K_{kr} / 1,7$	$T_{kr} / 2$	$T_{kr} / 8$

### 3 PROJEKTIN ESISUUNNITTELU

Projektin esisuunnitteluun kuului useita asioita. Näitä olivat alkuperäisen rakenteen ja toiminnan selvittäminen, koneiden lukumäärän selvittäminen, vanhojen päivitysten tutkiminen ja Tampereen koneen päivityksen laajuuden määrittäminen. Laajuuden määrittämisen jälkeen päivitetyt koneet suunniteltiin pohjalta tehtiin riskianalyysi.

#### 3.1 Taustatutkimus

Koneiden lukumäärän selvittäminen oli tärkeää yrityksen kannalta, koska se määrittäisi kuinka laajalti päivitykselle voisi olla kysyntää. Saman aikaisesti selvitettiin Tampereella sijaitsevan koneen rakennetta, jotta pystyttäisiin arvioimaan, kuinka helposti päivitykset olisivat kopioitavissa muihin kohteisiin myöhemmässä vaiheessa. Koneen rakenteesta ennen päivitystä kerrotaan lisää työn kohdassa 3.2.

Kun koneiden määrä ja rakenteet olivat selvillä, pystyttiin toteamaan, että päivityksille olisi tarvetta ja ne olisivat riittävän helposti monistettavissa. Seuraavaksi alettiin määrittämään Tampereen päivityksen laajuutta. Laajuuden määrittämisessä oli mukana useita tahoja yrityksen sisältä. Toiminnallisuuksissa pyrittiin kuuntelemaan koneen käyttäjien mielipiteitä mahdollisimman paljon.

Tampereen päivitykseen päädyttiin ottamaan mukaan paljon toimintoja, jotta eri lisäyksien vaikutuksia koneen toimintaan voitaisi kokeilla ennen kuin päivitystä lähdetään viemään muualle. Päivitetyt koneet toiminnallisuuksista kerrotaan lisää työn kohdassa 3.4.

### 3.2 Tampereen kone ennen päivitystä

Tampereen tehtaalla sijaitseva uudelleenrullauskone on ennen päivitystä varsin yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Kireyden hallinta koneessa tehdään kiinnirullaimessa olevalla oikosulkumoottorilla, aukirullaimessa olevalla pneumaattisella jarrulla, heiluritelalla ja kontaktitelalla. Koneen rakenne näkyy alla kuvassa 26. Kuvassa numeroituna:

- 1 – Aukirullain
- 2 – Radanohjain anturit
- 3 – Heiluritela
- 4 – Teräasema
- 5 – Kontakti- tai kuormitustela
- 6 - Kiinnirullain



KUVA 26. Tampereen koneen rakenne ennen päivitystä

Kuten kuvasta huomataan, koneessa on turvaskanneri, joka estää koneen lähistöön menemisen koneen ollessa ajolla. Ohjaus on toteutettu käsiventtiileillä, paineensäätimillä ja muutamalla sähköisellä painonapilla (Kuva 27). Pääpulpetista on mahdollista käynnistää

ja pysäyttää kone, antaa nopeusohje potentiometrillä, laajentaa kiinnirullausakseli, säätää kiristyspainetta, ajaa kontaktitela ylös tai alas ja säätää kontaktipainetta. Lisäksi paneelissa on näyttö, josta näkee ratapituuden.



KUVA 27. Uudelleenrullaimen pääohjauspaneeli ennen päivitystä

### 3.2.1 Turvallisuuden puutteet

Tämän hetkisessä koneessa on puutteita turvallisuus ja toiminallisuus näkökannoista. Tampereen koneessa turvallisuus on turvaskannerin ansiosta kohtalaisella tasolla, mutta monilla muilla lokaatioilla ei ole skanneria käytössä ja koneet eivät vastaa yrityksen turvallisuusvaatimuksia. Vaikka turvaskanneri koneesta löytyykin, on koneen liikkuviin osiin mahdollista päästä vielä koskemaan ajon aikana. Tästä pyritään pääsemään päivityksessä eroon.

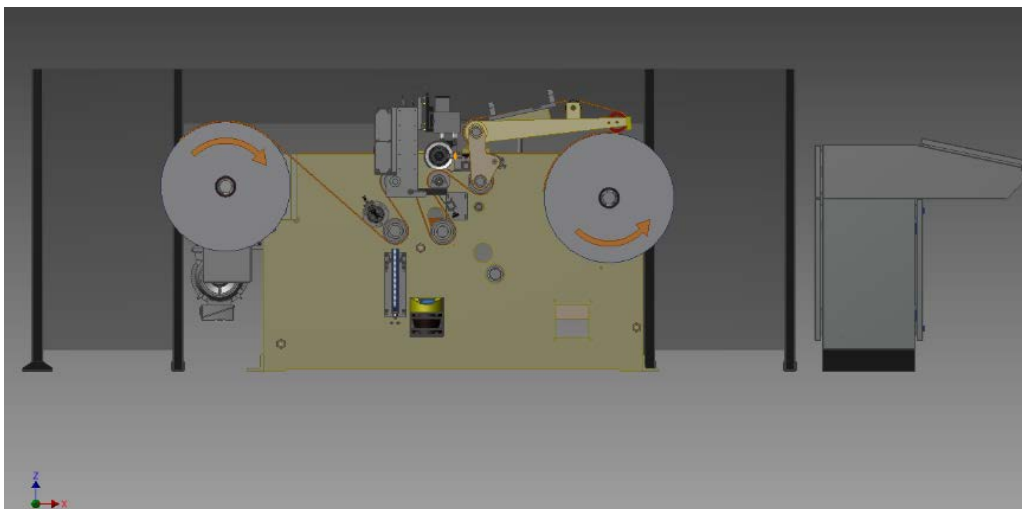
### 3.2.2 Toiminnalliset puutteet

Toiminnalliset ongelmat koneessa ovat heikko kireydensäätö ja huonokuntoiset ohjauslaitteet. Kireyttä ei ennen päivitystä mitata ollenkaan, joten on mahdotonta tietää, millaisissa kireysarvoissa liikutaan. Säätö tehdään käsiventtiileillä kokemuksen ja näköhavaintojen perusteella. Koneen teoreettinen maksiminopeus on tällä hetkellä 390m /min, mutta käytännössä koneella ajetaan yleensä maksimissaan n. 150m/min nopeutta, johtuen kireyden hallinnan heikkoudesta. Maksiminopeus 390 m/min johtuu kiinnirullausmoottorin päivityksessä tehdyistä muutoksista. Alkuperäisessä kunnossa olevan koneen teoreettinen maksiminopeus on 450m/min.

### 3.3 Tampereen kone päivityksen jälkeen

Esisuunnitteluvaiheessa pyrittiin määrittämään koneen toiminnallisuudet ja komponentit pääpiirteittäin. Tämä oli välttämätöntä, jotta päivitys pystyttäisiin budjetoimaan. Sähköisten komponenttien valinnoista kerrotaan lisää työn osiossa 4.

Tampereen koneeseen tullaan lisäämään monia toiminnallisuuksia, joista osa nähdään välttämättöminä ja osa lisätään testattavaksi, jotta voidaan määritellä seuraavan päivityksen laajuutta. Suunniteltu koneen rakenne näkyy alla olevassa kuvassa 28. Koneeseen lisätään kuvassa näkyvän ohjauspulpetin lisäksi painonappikotelot, kiinnirullaimen viereiseen aitaan ja teräasemanpalkkiin. Lisäksi aukirullaimelle lisätään riippupainikekotelo, josta voi ohjata koneen nopeutta ajon aikana. Vanhat ohjaimet poistetaan kokonaan.

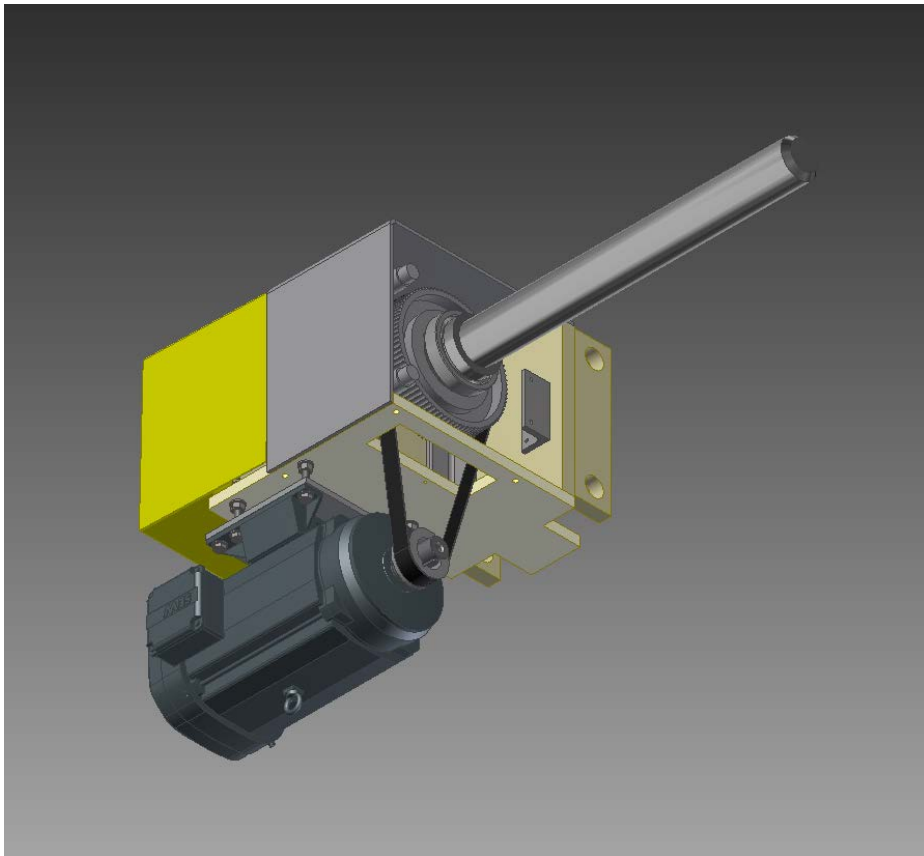


KUVA 28. Päivitetyin koneen 3D – malli

### 3.3.1 Aukirullain

Koneeseen lisätään aukirullain moottori. Tämä mahdollistaa paremman kireydenhallinnan ja koneella peruuttamisen. Moottori kytketään aukirullausakseliin hihnavälityksellä. Välityssuhde tulee olemaan 1 : 3. Moottoria tullaan ohjaamaan momenttisäätöisesti ilman kireyden takaisinkytkentää. Moottorissa on takometri, joka mahdollistaa tarkan momenttisäädön ilman aukirullauskireyden mittausta.

Ensimmäiseen vapaasti pyörivään telaan lisätään pitolista, joka aktivoituu koneen pysähtyessä ja pitää radan paikoillaan. Tämä helpottaa koneen operointia. Aukirullaimen olemassa olevaa pneumaattista jarrua tullaan hyödyntämään radanviennissä koneelle ja tilanteissa, jossa koneen sähkösyöttö katkeaa. Aukirullaimelle lisätään myös halkaisijamittaus. Aukirullaimen suunniteltu rakenne näkyy kuvassa 29.



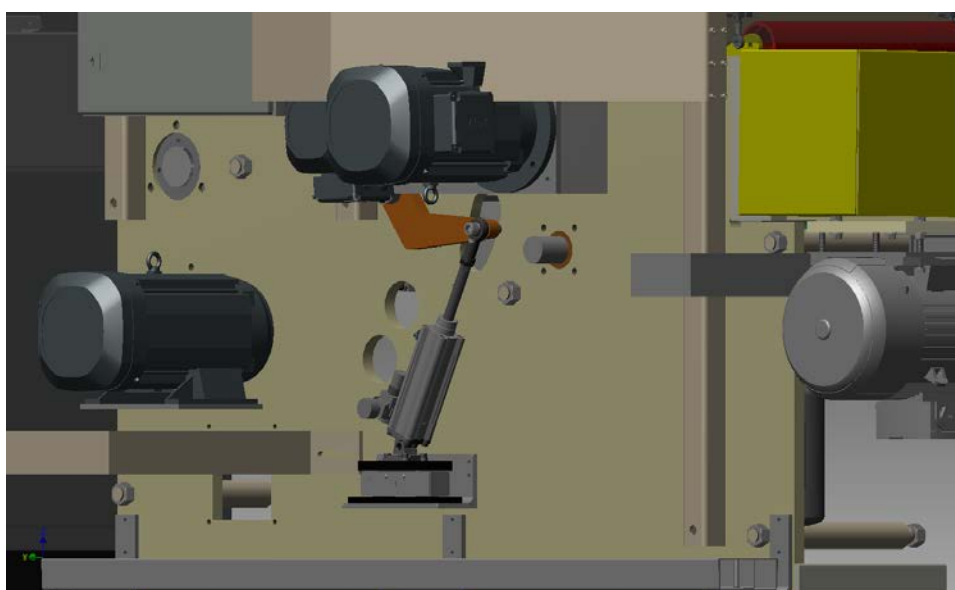
KUVA 29. Aukirullaimen rakenne päivityksen jälkeen

### 3.3.2 Tanssijatela

Tanssijatelan mekaniikkaa muutetaan hieman ja siihen sijoitetaan kireysanturi. Tanssijatelan painetta säädetään ohjelmasta I/P-muuntimen avulla. I/P – muunnin on laite, joka muuttaa sähköisen signaalin paineeksi. Tanssijatelan asennosta tuodaan mittaustieto loogikalle, jota käytetään säätöpiirissä. Koneella on mahdollisuus ajaa, joko tanssijatelalla tai kireysmittauksella ja pääkäytöllä, mutta ei molemmilla samanaikaisesti. Kireysmittauksella ja pääkäytöllä ajettaessa tanssijatela lukitaan paikoilleen syöttämällä sitä ohjaavaan sylinteriin maksimipaine. Kireysmittausta tullaan käyttämään kiinnirullauskireyden säätämiseen.

Tanssijatela tullaan tässä koneessa käyttämään lähinnä testaamiseen seuraavien päivitysten laajuuden määrittämiseksi. Telan tarkoitus on poistaa aukirullattavan rullan epätaisuudesta aiheutuvia häiriöitä. Tanssijatelan sijainti on koneen rakenteesta johtuen vasta pääkäytön jälkeen, jolloin sitä on hyödyllistä käyttää vain tilanteessa, jossa pääkäyttöä ei käytetä. Tarkoituksena on siis testata konetta ilman pääkäyttöä ja tarkastella saataisiinko tällä ratkaisulla edullisempi ratkaisu tietyille toimipisteille.

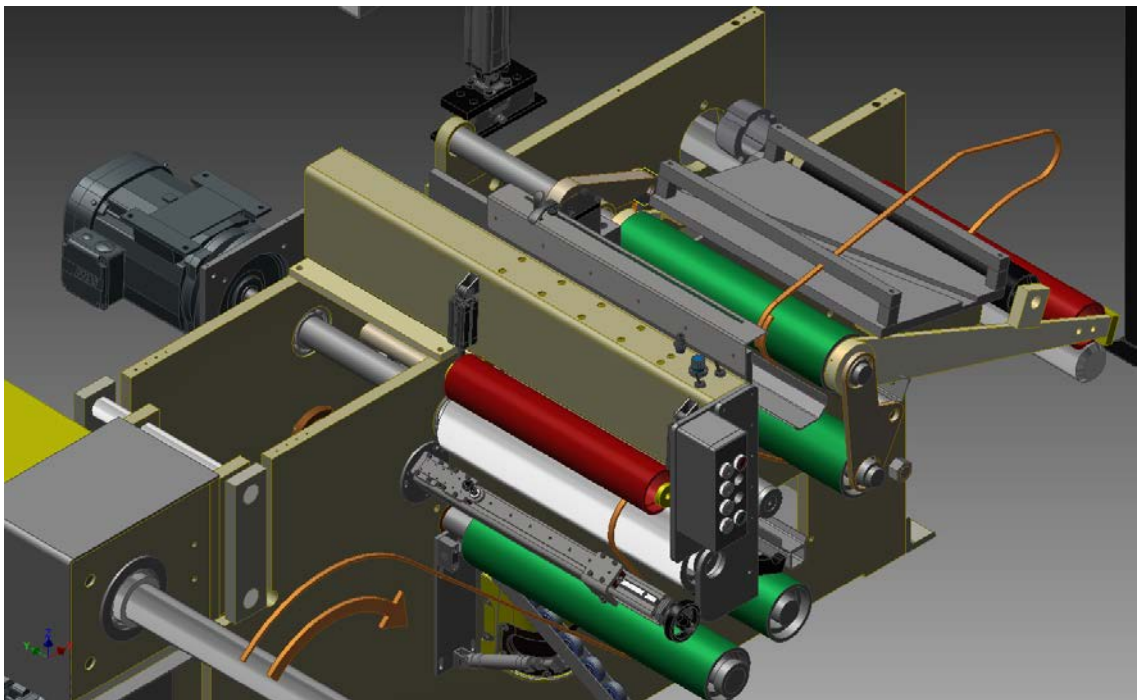
Testaamista varten rakennetaan kaksi erilaista valmista ohjelmaa. Toisessa tanssija pyritään pitämään keskellä painetta säätämällä ja toisessa tanssija pyritään pitämään keskellä aukirullain moottorin momenttia säätämällä. Kuvassa 30 näkyy tanssijatela ohjaavan sylinterin mekaaninen rakenne. Sylinterin alle asennetaan voima-anturi.



KUVA 30. Tanssijatelan mekaniikka

### 3.3.3 Pääkäyttö ja teräasema

Pääkäytön lisääminen ja leikkuuterien päivittäminen vaatii suurimman mekaanisen muokkauksen koneelle. Koneeseen lisätään palkki, johon kiinnitetään päätelan nippitela ja leikkuuterät. Päätela tarkoittaa telaa, johon pääkäyttö tai päämoottori kytketään. Nippitela nimensä mukaisesti muodostaa nipin päätelan kanssa. Nippitelan puristuspainetta voi säätää palkin päältä paineensäätimeltä koneen ollessa pysähtynyt. Nippitelalla pyritään estämään radan luistaminen päätelan yli. Terien ohjaus on toteutettu käsiventtiileillä palkin päältä.

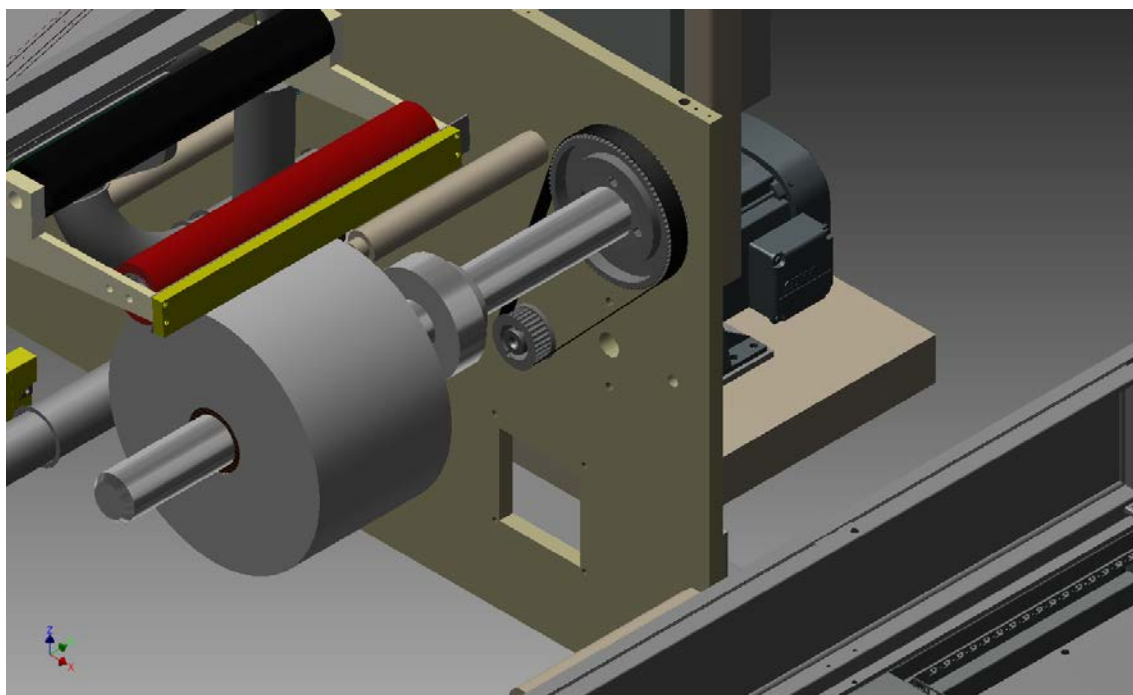


KUVA 31. Pääkäytön ja teräaseman rakenne

### 3.3.4 Kontaktitela ja kiinnirullain

Kiinnirullaimen mekaniikka tullaan pitämään lähes samanlaisena, kuin ennen päivitystä. Moottori päivitetään ja kytketään akseliin hihnavälityksellä kuten aiemminkin. Välitysuhteeksi tullaan rakentamaan 1:3, kuten aukirullaimessakin. Kiinnirullain moottoria tullaan ohjamaan momenttiohjatuksi. Kireyttä tullaan säätämään takaisinkytkennän avulla. Säädestä kerrotaan lisää työn osiossa 5.

Kontaktitelan kontaktipainetta tullaan ohjaamaan ohjelmasta I/P – muuntimen avulla. Kiinnirullaimelle tullaan lisäämään jarru sähkökatkoksia varten. Kiinnirullaimelle lisätään halkaisijamittaus ja kontaktitelaa asentomittaus. Kiinnirullaushalkaisijaa käytetään laskennallisen halkaisijan tukena. Kontaktitelan asentomittaus vaaditaan, jotta koneella on mahdollista ajaa kontaktitela ylhäällä. Lisäksi se mahdollistaa turvallisen kontaktitelan automaattisen alasajon. Alla olevassa kuvassa 32 koneen runko on poistettu, jotta moottorin voimansiirron rakenne hahmottuu paremmin.



KUVA 32. Kiinnirullain ja kontaktitela

### 3.4 Riskianalyysi

Koneelle tehtiin riskianalyysi, jossa pyrittiin arvioimaan riskejä, joita uudessa koneessa tulisi olemaan. Tämä tehtiin turvallisuuden takaamiseksi, mutta myös suunnittelun tukemiseksi. Riskit arvioitiin yrityksen valmiilla pohjalla, joka perustuu koneturvallisuus standardiin.

Mahdolliset riskit listattiin ja tämän jälkeen ne arvioitiin vakavuuden ja todennäköisyyden mukaan. Jos todettiin, että riski on liian korkea hyväksyttäväksi, suunniteltiin toimenpiteet, joilla riski saataisiin pienennettyä hyväksytylle tasolle. Käytetty valmis pohja kertoi kullekin toiminnolle vaaditut Sil- (Safety integrity level) turvatasot IEC 61508 standardin mukaisesti. Näitä turvatasoja käytettiin automaatiosuunnittelun laitevalinnoissa. Koneen hätäseis toimintoja toteuttavien laitteiden turvatasoksi määräytyi sil2.

## 4 SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOSUUNNITTELU

Sähkösuunnittelu aloitettiin moottoreiden mitoittamisella ja I/O-listauksella. Seuraavaksi valittiin ohjelmoitava logiikka (PLC), käyttöliittymä (HMI), sekä muut ohjauslaitteet ja määritettiin erilaisten kenttälaitteiden tarve. Näiden pohjalta pystyttiin luomaan sähköosille melko tarkka budjetti, jotta projektia saatiin muilla osa-alueilla vietyä eteenpäin.

Kun tarvittavat laitteet olivat selvillä, alettiin suunnittelemaan sähkökeskusta. Kaikki ohjaukseen käytetyt komponentit päädyttiin laittamaan pulpettiin, tällöin ei tarvittaisi erillistä sähkökeskusta ja operointipaneelia. Tämä helpottaisi myöhemmin päivityksen viemistä maailmalle. Tässä työn osiossa käydään tarkemmin läpi suunnittelun eri osa-alueita ja valittuja kenttälaitteita.

### 4.1 Moottoreiden mitoitus ja valinta

Moottoreiden mitoitus aloitettiin, kun vaaditut koneen toiminallisuudet oli määritetty. Koneella pyritään maksimissaan 900 N/m kiinnirullauskireyteen ja maksimissaan 500 N/m aukirullauskireyteen. Varaosatarpeiden vuoksi aukirullaimen ja kiinnirullaimen haluttiin valita samanlaiset moottorit. Näiden lisäksi mitoitettiin vapaaseen telaan asennettava päämoottori, jonka yli oli tarkoitus pystyä tekemään 500 N/m kireyttä rataan.

Rullaussovelluksissa suositaan erillistuuletettuja moottoreita. Tämä johtuu siitä, että moottoreilta voidaan vaatia suuria momenteja pienillä nopeuksilla pitkiä aikoja. Erityisesti uudelleenrullaimissa tämä on yleistä, kun yritetään korjata laadultaan huonoa rullaa. Tällöin kone käy hitaalla nopeudella kauan, mutta moottoreiden pitää silti kyetä luomaan vaadittu kireys rataan ilman, että ne ylikuumenevat. Tästä syystä kaikkien moottoreiden tuli olla erillistuuletettuja.

Rullaussovelluksia voidaan toteuttaa usealla tavalla. Toimivaksi ratkaisuksi on todettu malli, jossa päämoottori on nopeusohjattu ja rullaimien moottorit ovat momenttiohjattuja. Momenttisäätojen tarkkuuden varmistamiseksi moottoreihin tuli lisätä takometrit.

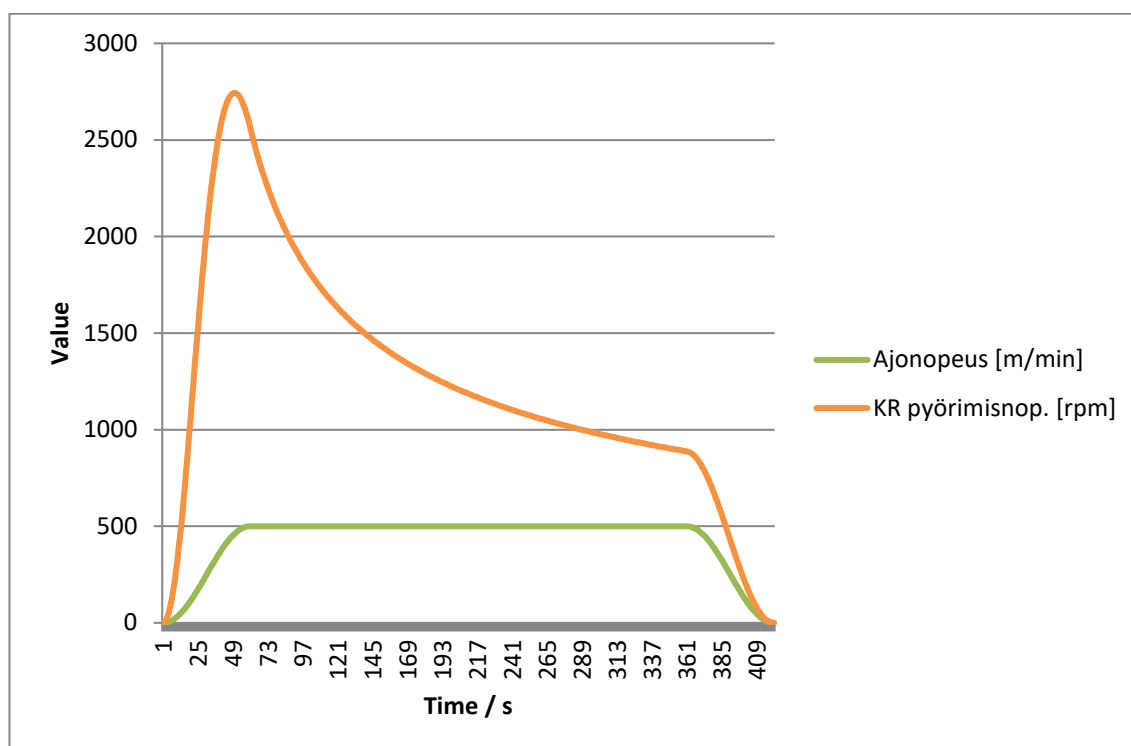
Mitoitukseen oli tarjolla monia apuohjelmia. Päädyin käyttämään yrityksen omaa Excel – pohjaista mitoitusohjelmaa. Mitoitusohjelman laskenta perustuu opinnäytetyön osiossa

2.2 ja 2.3 esitettyihin teorioihin. Mitoitukset tarkastettiin myös käsin laskemalla. Laskenta löytyy työn kohdista 4.1.1 ja 4.1.2.

#### 4.1.1 Rullainmoottoreiden valinta

Tampereen koneessa oli kiinnirullaimessa olemassa oleva kaksiportainen hihnavälitys. Välityssuhteeksi saatiin mittaamalla n. 1:4,2. Ohjauksen yksinkertaistamiseksi pyrittiin rakentamaan sekä auki-, että kiinnirullaimen sama välityssuhde. Aukirullaimessa mekaaniset rajoitteet asettivat maksimi välityssuhteeksi 1:3, joten tätä käytettiin molempien moottoreiden mitoituksessa.

Kiinnirullausakselin maksimipyörimisnopeus määräytyy kiihdytysajasta ja materiaali-paksuudesta. Työn moottorit mitoitettiin 60 sekunnin kiihdytysajalla ja 80um materiaali-paksuudella. Kiinnirullaimen pyörimisnopeus ja koneen ajonopeus 3000 metrin ajopituudella näkyvät alla olevassa kuvassa 33.



KUVA 33. Kiinnirullainmoottorin pyörimisnopeus ja ajonopeus

Kuvaajasta nähdään, että kiinnirullainmoottorin maksimipyörimisnopeus on n.2700 rpm. Tulos voidaan tarkastaa laskennallisesti. Tarkistus tehtiin vertaamalla ohjelman laskemaa pyörimisnopeutta 60 sekunnin kiihdytyksen jälkeen (2590 rpm) laskennalliseen arvoon.

Kiihdytysajan ollessa 60 sekuntia pinnanopeuteen 500 m / min ja olettaessa, että kiihdytys tehdään linearisesti, voidaan laskea, kuinka paljon materiaalia on rullattu hetkellä, jolloin ratanopeus saavuttaa maksimiarvonsa. Keskinopeus on tällöin 250 m / min. Materiaalipituus on  $250 \text{ m / min} \cdot 1 \text{ min} = \mathbf{250m}$ .

Kun tiedetään hylsyn halkaisija (96mm) ja materiaali paksuus (80um), voidaan laskea rullan halkaisija kaavalla 20. Kaavassa:

$r_1$  = rullan säde (m)

$r_2$  = hylsyn säde (m)

$c$  = materiaali paksuus (m)

$l$  = materiaali pituus (m)

$$A_1 = A_2 \quad (20)$$

$$\pi r_1^2 - \pi r_2^2 = c \cdot l$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{80 \mu\text{m} \cdot 250 \text{m} + \pi (0,048 \text{m})^2}{\pi}}$$

$$r_1 = 0,09311 \text{m}$$

Kun tiedetään rullan säde, voidaan siitä laskea rullan kehänpituus  $p = \pi d = \mathbf{0,585m}$ . Kun tiedetään kehän pituus, pinnanopeus (500m/min) ja välityssuhde (1:3) voidaan ratkaista moottorin pyörimisnopeus  $n$  kaavalla 21.

$$v = \pi n d \quad (21)$$

$$n = \frac{500 \text{ m/min}}{0,585 \text{m}} \cdot 3$$

$$n = 2563,9 \text{ rpm}$$

Aiemmassa kuvaajassa huippunopeus 2700 rpm saavutetaan 52 sekunnin kiihdytysajan kohdalla. 60 sekunnin kohdalla pyörimisnopeus on 2569 rpm. Arvot ovat riittävän lähellä toisiaan, jotta voidaan todeta laskentaohjelman toimivan luotettavasti.

Akselilla vaadittu momentti pystyttiin laskemaan, kun tiedettiin maksimiarvot rataleveyydestä (0,5m), rullan maksimihalkaisijasta (1 m) ja ratakireydestä (900 N/m). Rullan saatuttaessa maksimi halkaisijan kireyttä ollaan heikennetty aina vähintään 30 %. Tällöin laskennassa käytetty kireys on  $900 \text{ N/m} \cdot 0,7 = \mathbf{630 \text{ N/m}}$ . Ratakireyden aiheuttama momentti voidaan laskea kaavalla 2.

$$M = Fr$$

$$M = 0,5m \cdot 630 \text{ N/m} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1m$$

$$M = 157,5 \text{ Nm}$$

Ja akselin momentista saatiin laskettua moottorin maksimimomentti sijoittamalla arvot kaavaan 12. Hihnavälityksen hyötysuhteeksi arvioitiin 97%

$$M_1 = \frac{M_2}{\eta} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$M_1 = \frac{157,5 \text{ Nm}}{0,97} \cdot \left(\frac{1}{3}\right)$$

$$M_1 = 54,12 \text{ Nm}$$

Tähän momenttiin lisättiin arvioitu staattisista ja dynaamisista kitkoista aiheutuva momentti 2 Nm.

$$M_1 = 56,12 \text{ Nm}$$

Kiinnirullaimella rullan inertia vaikuttaa kiihdytys tilanteessa positiivisesti momentin tarpeeseen ja hidastuksessa negatiivisesti. Hypoteettisesti pahin tilanne olisi, että lähellä maksimihalkaisijaa ja painoa oleva rulla kiihdyttäisi vielä maksiminopeuteen. Tällöin inertian vaikutus kasvattaisi momentin tarvetta kiinnirullaimella kaavan 3 mukaisesti. Rullan maksimipaino on 400kg.

$$M_{JR} = \left[ \frac{1}{2} \cdot m(R^2 - r^2) \right] \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$M_{JRhs} = \left[ \frac{1}{2} \cdot 400 \text{ kg} ([0,5m]^2 - [0,048m]^2) \right] \cdot \frac{8,33 \frac{m}{s}}{60s} / 0,5m$$

$$M_{JRhs} = 13,77 \text{ Nm}$$

$$M_{KR} = M_{JRhs} + M_1 = 13,77 \text{ Nm} + 56,12 \text{ Nm} = \mathbf{69,89 \text{ Nm}}$$

Oikosulkumoottorit kestävät hetkellistä ylikuormitusta erittäin hyvin. Ei ole järkevää mitoitaa moottoria maksimimomentin mukaan. Yrityksen kanssa sovittiin korjauskertomeksi 0,7, jolloin momentin nimellinen tarve on  $70\text{Nm} \cdot 0,7 = 49\text{Nm}$ . Aiemmin ratkaistu maksimi pyörimisnopeus oli 2750rpm, mutta tämäkin on hetkellistä ja tapahtuu vain kiihdytyksen aikana.

Kuvasta 33 nähdään, että moottorin kierrosnopeus on suurempi kuin 2000 rpm vain noin minuutin ajan kiihdytyksessä ja tällöin momentin tarve on pieni rullan halkaisijan ollessa pieni. Näiden arvojen pohjalta päädyttiin valitsemaan **7,5kW / 1500rpm / 50Nm** oikosulkumoottorit. Molempien rullaimien moottorit ovat M3 jalkakiinnitteisiä.

Hätäseis tilanteessa moottorin tulisi kyetä pysäyttämään rulla 5 sekunnissa. Pahimmassa tilanteessa koneessa olisi teoriassa mahdollista olla 400kg painava ja 1m halkaisijainen rulla ja ratanopeus olisi 500m/min eli 8,3 m/s. Käytännössä kyseinen tilanne on mahdoton, koska rullan paino ja halkaisija ehtivät pienentyä ennen kuin päästään maksiminopeuteen. Mitoituksen päätteeksi on tärkeää muistaa tarkastaa, että moottori kykenee pysäyttämään rullan vaaditussa ajassa.

Momentin riittävyys varmistetaan vertaamalla moottorin maksimimomenttia kuormituksen maksimimomenttiin. Kuorman maksimimomentti saadaan lisäämällä edellisellä sivulla laskettuun kuormamomenttiin  $M$  rullan inertiaasta (hitausmassasta) johtuva momentti. Rullan inertia lasketaan käytetään kaavaa 3.

$$M_{JR} = \left[ \frac{1}{2} \cdot m(R^2 - r^2) \right] \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

Sijoitetaan kaavaan arvot,  $w = v / r$

$$M_{JRhs} = \left[ \frac{1}{2} \cdot 400\text{kg}([0,5\text{m}]^2 - [0,048\text{m}]^2) \right] \cdot \frac{8,33 \frac{\text{m}}{\text{s}} / 0,5\text{m}}{5\text{s}}$$

$$M_{JRhs} = 166,6 \text{ Nm}$$

Moottorin välityssuhteen ollessa 1 : 3 saadaan moottorin akselilla vaikuttavaksi inertian maksimimomentiksi

$$M_{JRM} = \frac{166,6Nm}{3} = 55,5Nm$$

Tällöin hätäseistilanteen kokonaismomentiksi saadaan

$$M_{hs} = M_{JRM} + M$$

$$M_{hs} = 55,5Nm + 54,12Nm = 109,62Nm$$

Moottoreille valmistaja lupaa maksimimomentiksi 3,2 kertaa nimellismomentin. Tällöin

$$M_{Mmax} = 50Nm \cdot 3,2 = 160 Nm$$

$$M_{Mmax} > M_{hs}$$

Huomataan, että moottorin maksimimomentti riittää hätäseistilanteessa kaikissa tapauksissa.

#### 4.1.2 Päämoottorin valinta

Päämoottorissa ei käytetä välitystä vaan se kytketään suoraan telaan. Telan halkaisija oli 130mm. Kun koneen maksimi ratanopeudeksi oli määritelty 500 m/min voitiin näistä arvoista laskea telan maksimi kierrosnopeus, joka oli samalla myös moottorin maksimi kierrosnopeus kaavalla 21.

$$v = \omega r = \pi d n \tag{21}$$

$$n = \frac{v}{\pi d}$$

$$n = \frac{500 \text{ m/min}}{\pi \cdot 0,130m}$$

$$n = \frac{500 \text{ m/min}}{\pi \cdot 0,130m}$$

$$n = 1224,27 \frac{1}{\text{min}}$$

Moottorilta vaadittu momentti pystyttiin laskemaan, kun tiedettiin maksimiarvot rataleveydestä (0,5m), telan halkaisijasta (0,13 m) ja ratakireydestä (500 N/m). Ratakireys 500 N/m tarkoittaa kireyttä, joka päämoottorilla yritetään luoda. Lopulliseen momenttiin lisättiin vielä arvio staattisten ja dynaamisten kitkojen aiheuttamasta momentista ( $M_k$ ).

$$M = Fr + M_k$$

$$M = 0,5m \cdot 500N/m \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,130m + 2Nm$$

$$M = 18,25Nm$$

Näiden arvojen perusteella päädyttiin valitsemaan **2,2kW / 1000 rpm / 22Nm** oikosulkumoottori. Asennustavasta johtuen moottori valittiin B5 laippakiinnityksellä.

## 4.2 Taajuusmuuttajien valinta

Taajuusmuuttajiksi valittiin ABB:n ACS 880 – mallit. Malliin päädyttiin, koska siinä on mahdollisuus toteuttaa rullaussovelluksien laskenta suoraan taajuusmuuttajissa. Taajuusmuuttajat vaativat erilliset moduulit Profinet-liitynnälle (FPNO-21) ja moottoreiden takometri takaisinkytkennöille (FEN-11). 7,5kW rullain moottoreille valittiin 11kW taajuusmuuttajat ja 2,2kW päämoottorille valittiin 3kW taajuusmuuttaja toimittajan toimesta. Taajuusmuuttajat mitoitetaan moottorin tarvitseman maksimivirran perusteella.

11 kW taajuusmuuttajien hetkellinen maksimivirta on 29A ja 3kW taajuusmuuttajan maksimivirta 9,5A. Pienemmän taajuusmuuttajan maksimivirran voidaan todeta riittävän kun tiedetään, että moottorin kuormitusmomentti ei ylitä moottorin nimellistä momenttia. Isompien taajuusmuuttajien tapauksessa 29 ampeerin maksimivirta rajoittaa moottorin maksimimomenttia.

Rullainmoottoreiden nimellinen virta on 14,2A. Moottorin kuormamomentin kasvaessa kasvaa myös virta lineaarisesti. Eli 29 ampeerin virralla moottorilta saadaan  $29A / 14,2A = 2,04$  kertainen momentti verrattuna nimellismomenttiin. Työn kohdassa 4.1.1 laskettiin hätäseistilanteen teoreettinen maksimikuormamomentti. Tämä momentti oli  $109,92Nm / 50Nm = 2,19$  kertainen nimelliseen verrattuna.

Taajuusmuuttajan kokoa ei kuitenkaan haluttu kasvattaa pelkästään harvinaisella rulla koolla tehtävän hätäseis toiminnon vuoksi. Suurin tähän päätökseen vaikuttava seikka oli taajuusmuuttajan runkokoon kasvaminen, joka vaikeuttaisi niiden sijoittamista kompaktiin sähkökeskukseen. Ohjelmointi vaiheessa tullaan varmistamaan koneen pysähtyminen vaaditussa ajassa rajoittamalla tarvittaessa koneen nopeutta, jos pysäytykseen vaadittu momentti kasvaa yli  $50\text{Nm} \cdot 2,04 = 102\text{Nm}$ . Vaihtoehtoisesti voidaan myös tiputtaa rata-kireyttä suurien rullien hätäseis tilanteissa, jolloin kokonaismomentti tippuu.

### 4.3 Sähköinen jarrutus

Moottoreiden jarrutusenergia tullaan hyödyntämään kytkemällä taajuusmuuttajien tasavirtavälipiirit yhteen. Jarrutusenergia, jota ei kyetä hyödyntämään moottoreilla johdetaan jarruvastuksiin. Kun välipiirit kytketään yhteen, tulee jokainen taajuusmuuttaja suojata omilla erikoisnopeilla sulakkeilla. Sulakekoot määräytyivät taulukkoarvoista taajuusmuuttajan koon mukaan. 11 kW taajuusmuuttajille asennetaan 50A gG – sulakkeet ja 3kW taajuusmuuttajalle 16A gG – sulakkeet.

Rullauksessa aukirullainmoottori toimii generaattorina ja kiinnirullainmoottori moottorina. Pääkäyttö voi tilanteesta riippuen toimia joko generaattorina tai moottorina. Lähes aina kiinnirullauskireys on suurempi kuin aukirullauskireys, mikä tarkoittaa sitä, että aukirullaimen jarrutusenergia saadaan hyödynnettyä kiinnirullaimella. Jarrutukselle suurin tarve rullaussovelluksessa tuleekin hätäseis tilanteessa, jolloin aukirullain moottori jarruttaa suurella momentilla ja muut moottorit eivät kuluta jarrutusenergiaa ollenkaan. Tasavirtavälipiiriin kytkettävä jarruvastus mitoitettiin siis hätäseis tilanteen perusteella.

Jarruvastuksen ja jarrukatkojan mitoitus aloitettiin määrittämällä hätäseis tilanteessa verkkoon syötettävä teho. Suurin mahdollinen hetkellinen teho tulee työn kohdassa 4.2 laskeulla taajuusmuuttajan rajoittamalla maksimimomentilla ja 500 m /min nopeudella. (ABB, Jarrutus)

$$P_{hs} = M_{hsraj} \cdot \omega$$

$$P_{hs} = M_{hsraj} \cdot v/r$$

$$P_{hs} = 102 \text{ Nm} \cdot \frac{8,333\text{m/s}}{0,5\text{m}}$$

$$P_{hs} = 1700 \text{ W}$$

Tähän tehoon lisättiin vielä arvio kahden muun käytön mekaanisen inertian pysäyttämisen aiheuttamasta tehosta 300W.

$$P_{hskok} = 2000\text{W}$$

Käytetyt moottorit ovat IE3 – hyötysuhdeluokkaa, jolloin hyötysuhde on 7,5kW moottorilla n. 91%. Tällöin sähköinen teho on  $2000\text{W} / 0,91 = 2198\text{W}$

Toimittajan tarjoaman jarruvastuksen ominaisuudet ovat  $R_{jv} = 44 \text{ ohm}$ ,  $P_{cont} = 1\text{kW}$  ja  $E_r = 210\text{kJ}$ .  $E_r$  tarkoittaa energiamäärää, jonka vastuskokoonpano kestää 400 sekunnin jarrutusjakson aikana.  $P_{cont}$  taas on vastuksen jatkuva tehonhäviö.

Jarruvastuksen tulee yhteisessä tasavirtavälipiirissä täyttää seuraavat ehdot:

$$R_{jv} < \frac{U_{dc}^2}{P_{hs}}$$

$$E_r > \int P_{gen}(t) dt$$

$$P_{cont} > P_{genk}$$

$U_{dc}$  = Välipiirin jännite (600V)

$P_{gen}$  = Generoitu jarrutusteho

$P_{genk}$  = Generoitu jarrutusteho keskiarvo

$R_{jv}$  = Jarruvastuksen resistanssi

(ABB, Jarrutus)

Seuraavaksi tarkastettiin ehtojen täyttyvyys

$$R_{jv} < \frac{U_{dc}^2}{P_{hskok}}$$

$$44\Omega < \frac{600 V^2}{2200W}$$

$$44\Omega < 163,6\Omega \quad \mathbf{OK}$$

Kokonaisjarrutusenergia arvioitiin siten, että 400 sekunnissa voisi tulla maksimissaan 10 hätäseispysäytystä. Aiemmin laskettu maksimiteho hätäseis tilanteessa oletettiin pienevän lineaarisesti ajan suhteen pyörimisnopeuden pienentyessä jarrituksen edetessä. Tällöin siis keskimääräinen teho jarrituksen aikana olisi  $2200W / 2 = 1100W$ .

$$E_r > \int P_{gen}(t) dt$$

$$210kJ > 1100W \cdot 5s \cdot 10$$

$$210kJ > 55kJ \quad \mathbf{OK}$$

$$P_{cont} > P_{genk}$$

$$1000W > 55kJ/400s$$

$$1000W > 137,5W \quad \mathbf{OK}$$

Arvoista nähtiin, että ehdot täyttyvät ja valittua jarruvastusta voitiin käyttää. Taajuusmuuttajan jarrukatkoja mitoitettiin jarruvastukselle sopivaksi toimittajan toimesta.

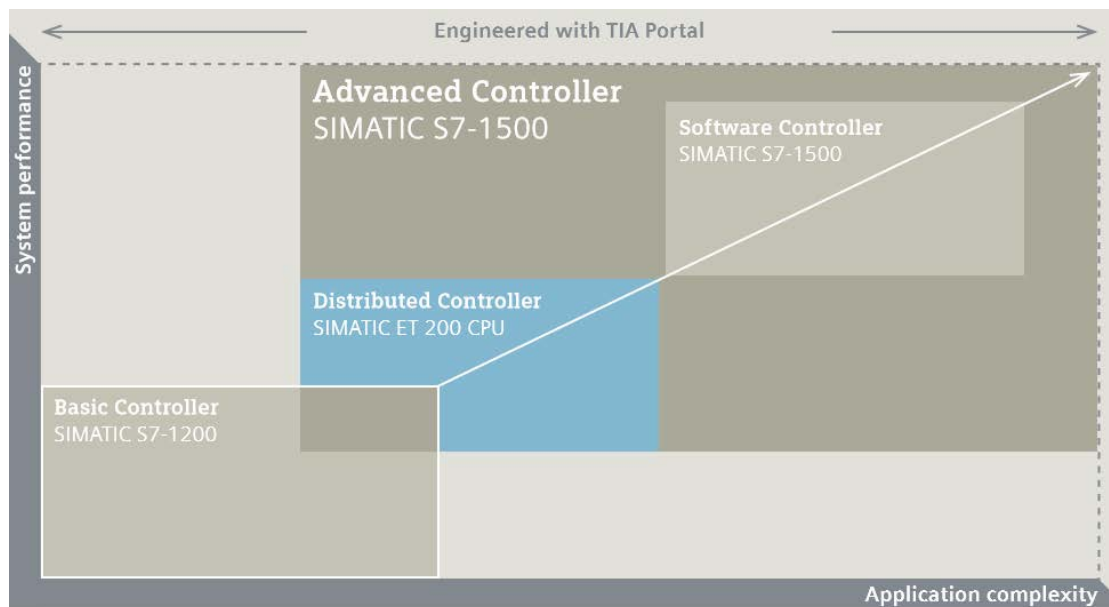
## 4.4 Ohjauslaitteiden valinta

Tässä osiossa esitellään päivitetyn koneen ohjaukseen käytettävien laitteiden valinnat perusteluineen.

### 4.4.1 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitavan logiikan (PLC) valinta rajoittui Siemensin tarjoamiin PLC malleihin yrityksen toiveista johtuen. Jotta saataisi sähkökeskuksessa olevien komponenttien määrä minimoitua ja turvallisuus vaatimukset helposti täytettyä, päädyttiin käyttämään Fail-safe PLC:tä. Tällöin kaikki turvatoiminnot voitiin toteuttaa logiikalla. Vertailuun otettiin 1200 – sarjan, 1500 – sarjan, ja ET200 – sarjan CPU:t.

Alla olevassa kuvassa 34 nähdään millaisiin sovelluksiin, kutakin CPU-mallia suositellaan käytettävän. 1200 – sarjaa suositellaan käytettäväksi sovelluksissa, joissa sovellus on suhteellisen yksinkertainen eikä CPU:lta vaadita suurta laskentatehoa. 1500 – sarjaa taas suositellaan käytettäväksi, jos sovellus on monimutkainen tai CPU:lta vaaditaan suurta laskentatehoa. ET 200 – sarjan CPU:t sijoittuvat mitta-asteikolla kahden aiemmin mainitun väliin. (Siemens, ET-200SP)



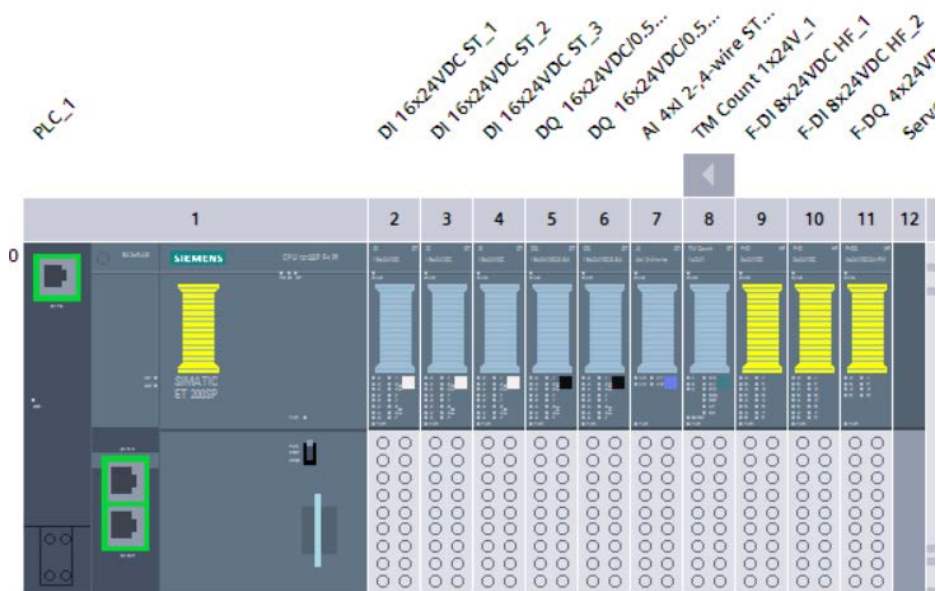
KUVA 34. Siemens TIA – Portal CPU vertailu

Tässä projektissa ns. erikoisuuksia, johon logiikan pitäisi kyetä olivat 1024 pulssia / kierros pulssianturin luku, yhteys tehtaan Ethernet verkkoon ja web server toiminnon tukeminen, joka mahdollistaisi internet pohjaisen HMI näytön testaamista. Lisäksi logiikan tulisi olla Profinet yhteensopiva.

Tulojen ja lähtöjen määrä oli tässä koneessa kohtuullisen pieni. Pienen koneen ohjelma-kin olisi toteutettavissa yksinkertaisimmilla 1200 – sarjan CPU-malleilla. Uusimmissa malleissa oli kaikissa edellisessä kappaleessa mainitut ominaisuudet. Merkittäväksi puutteeksi 1200 – sarjassa havaittiin kuitenkin korttien suuri koko ja liitinjärjestely. Lisäksi STL – ohjelmointi kieli ei ollut käytettävissä 1200 – sarjan malleissa, joka oli vakava puute, koska ohjelmoinnissa oli tarkoitus käyttää useita valmiita lohkoja, jotka olivat kirjoitettu STL – kielellä. (Siemens, Laite manuaali 1215 CPU)

Näillä perusteilla päädyttiin Simatic ET 200SP CPU – malliin. Kyseinen malli on erittäin kompakti ja ohjelmoitavuudeltaan se vastaa 1500 – sarjan CPU:ta. Kyseinen logiikka sisältää web server – toiminnon. Siihen voidaan liittää kommunikointikortti erilliselle Ethernet verkolle. Tämä mahdollistaa erillisen Profinet – verkon HMI – paneelille, taajuusmuuttajille ja venttiiliyksikölle ja erillisen liittynän tehtaan automaatioverkkoon. Kommunikointikortti tullaan lisäämään PLC:lle myöhemmässä vaiheessa.

Kortit valittiin I/O – listan pohjalta. Suurin osa analogisista tuloista / lähdöistä hajautettiin työn kohdassa 4.3.2 kuvatun venttiiliyksikön yhteyteen. Alla olevassa kuvassa 35 näkyy logiikalle kytketyt kortit. Digitaalituloja on 48 kpl, digitaalilähtöjä 32 kpl, analogivirtatuloja 4 kpl, turvadigitaalituloja 16kpl ja turvadigitaalilähtöjä 4 kpl. Lisäksi logiikalla on vielä TM Count 1 x24VDC HF kortti, jota käytetään ratanopeus ja pituus pulssianturin lukemiseen. Turvatulojen ja lähtöjen käyttö yhdessä Fail Safe CPU:n kanssa mahdollistaa koneen turvatoimintojen rakentamisen ilman turvareleitä aina Sil3 tai PLe turvatasolle asti. Tämä säästi tilaa keskuksessa ja vähensi johdotustyötä. (Siemens, Laite manuaalit)



KUVA 35. Siemens ET200SP CPU ja käytetyt kortit

#### 4.4.2 Käyttöliittymä

Asetusarvojen hallintaa ja vikadiagnostiikkaa varten koneen pääoperointipulpettiin asennetaan HMI – paneeli. Paneeli on tyypiltään Siemensin KTP 1200 Basic. Paneeli on profinet yhteensopiva, siinä on 12” kosketusnäyttö ja sitä voidaan ohjelmoida Siemensin TIA – portal ohjelmointityökalulla. Kosketusnäytön lisäksi paneelissa on 10 – function painiketta. Paneelin valintaan vaikuttivat TIA yhteensopivuus ja se, että Basic paneeleille ei tarvita erillistä lisenssiä ohjelmointia varten. (Siemens, Laite manuaalit)

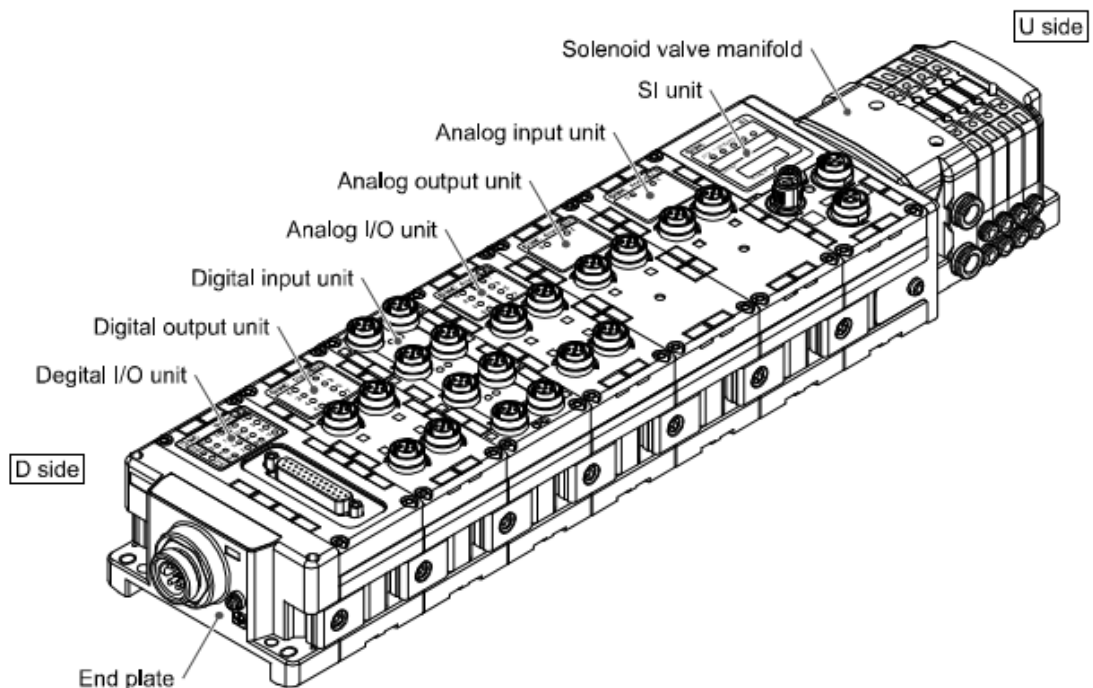


KUVA 36. Siemens KTP 1200 Basic HMI ohjelmointinäkymä

### 4.4.3 Venttiilyksikkö

Koneen ohjauksessa käytetään paineilmaa useassa paikassa. Paineilmaohjauksia varten kentälle asennetaan venttiilyksikkö, johon asennetaan 10 venttiiliä ja 2 analogi – korttia, joissa on molemmissa kaksi analogiatuloa ja kaksi analogialähtöä. Venttiilyksikkö on Profinet – väylällä yhteydessä logiikkaan. Hajauttamalla osa I/O-laitteista kentälle ja liittämillä ne väylään vähennettiin kaapelointia ja helpotettiin asennustyötä.

Kaikki kentällä olevat analogisignaaleja käyttävät laitteet pois lukien kireysmittaus, kytketään venttiilyksikön yhteydessä oleviin analogikortteihin. Tuloihin kytketään rullaimien halkaisijamittaukset, tanssijatelan asentomittaus ja kontaktitelan asentomittaus. Lähdöt ohjaavat I/P-muuntimia, joilla hallitaan kontaktipainetta, tanssijatelanpainetta ja aukirullausjarrun painetta. Alla olevassa kuvassa 37 näkyy esimerkki venttiilyksikön rakenteesta. SI – Unit on yksikkö, joka ohjaa koko venttiilyksikön toimintaa. Sen vasemmalle puolelle asennetaan käytetyt I/O – kortit ja oikealle venttiilit. (SMC, EX600)



KUVA 37. Esimerkki venttiilyksikön rakenteesta (SMC, EX600)

## 4.5 Kenttä- ja mittalaitteet

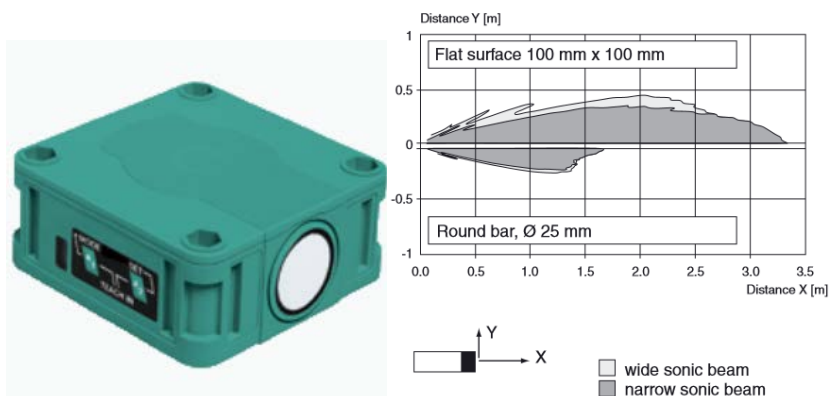
Tässä osiossa esitellään työssä käytetyt kenttä – ja mittalaitteet. Laitteiden teoreettiset toimintaperiaatteet ja valintaperusteet esitellään.

### 4.5.1 Halkaisijamittaukset

Molempiin rullaimiin lisätään ultraäänianturit mittaamaan rullan halkaisijaa. Ultraäänietäisyysantureiden toiminta perustuu nimensä mukaisesti ultraäänialtoihin. Ultraääni on ääntä, jota ihminen ei kykene kuulemaan. Ääni, jonka taajuus on yli 20 kHz määritellään ultraääniksi. Ultraäänianturi lähettää ääniaaltoja tietyllä taajuudella ja ne heijastuvat kappaleesta takaisin anturille. Ääniaallon kulkuun kuluvan ajan perusteella anturi kykenee laskemaan etäisyyden kappaleeseen.

Ultraäänianturin malliksi valittiin Pepper & Fulch UB2000 anturi (Kuva 38). Anturin valintaan vaikutti käyttö muilla koneilla, joka helpottaa varaosa tarvetta. Alla olevasta kuvasta 39 nähdään, kuinka hyvin anturi kykenee havaitsemaan tasaisen pinnan ja 25mm halkaisijaltaan olevan pyöreän putken eri etäisyyksillä.

Anturilta saadaan ulos 4-20mA viesti, jonka ala- ja ylärajat voidaan säätää halutuksi käyttämällä anturista löytyviä A1- ja A2-painikkeita. A1 – painikkeella voidaan asettaa alaraja arvoon 60mm – 1999mm ja A2 – painikkeella yläraja arvoon 61mm-2000mm. Ohje anturin raja-arvojen asetteluun löytyy työn liitteestä 3. (Pepperl & Fuchs – Datalehti)



KUVA 38. P&F Anturi

KUVA 39. Anturin havainnointikyky

(Pepperl & Fuchs – Datalehti)

#### 4.5.2 Kireysmittaus

Koneeseen asennetaan kireysmittaus kireyssäädön parantamiseksi. Kireysmittaus toteutetaan ABB:n Pillow Block – anturilla, koska yrityksessä on hyviä kokemuksia kyseisestä anturista. Pillow block – anturit mittaavat, joko pysty tai vaakasuuntaista voimaa ja ne asennetaan perinteisesti telan ja koneen rungon väliin molemmin puolin konetta (Kuva 40).



KUVA 40. Pillow Block – anturin perinteinen asennustapa

Koneen päivityksessä päädyttiin kuitenkin käyttämään vain yhtä anturia ja sitä ei asenneta perinteisellä tavalla. Anturi tullaan asentamaan tanssijatelan mekaniikkaan kuvan 30 mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että kireysmittausta voidaan käyttää vain tilassa, jossa konetta ajetaan tanssijatela lukittuna yhteen asentoon. (ABB, Web Tension)

Anturin toiminta perustuu sähköiseen induktioon. Anturin rungossa oleviin neljään reikään on käämitty kaksi toisiaan vastaan suorakulmaista kela (Kuva 41). Ensiökäämiin syötetään vaihtojännitettä ja toisiokäämi toimii mittauskääminä. Tilassa, jossa anturiin ei

kohdistu mekaanista rasitetta, toisiokäämiin ei indusoidu jännitettä. Kun anturia aletaan kuormittamaan käämit eivät ole enää kohtisuorassa toisiinsa nähden. Lisäksi teräksen permeabiliteetti heikkenee kuormitusvoiman suunnassa. Tämä johtaa siihen, että toisiokäämiin indusoituu jännite, joka on suoraan verrannollinen anturiin kohdistuvaan voimaan. (Kantanen, 2002)



KUVA 41. Voima-anturin sisäinen käämitys

Anturia ei voitu kytkeä venttiiliyksikön yhteyteen asennettuihin kortteihin, kuten muita mittalaitteita. Tämä johtui siitä, että mittaus vaatii erillisen vahvistimen, joka sijoitettiin pääpulpettiin. Vahvistin muuntaa anturin signaalin 4-20mA virtasignaalksi, joka viedään logiikalle. Anturin rakenne näkyy alla kuvassa 42. Anturin mekaaninen asennussuunnitelma selviää aiemmin työssä kuvassa 30. (ABB, Web Tension)

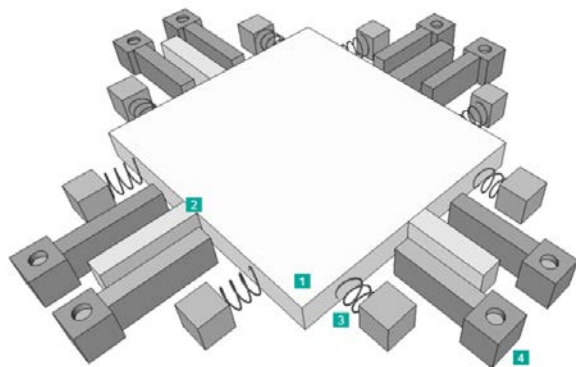


KUVA 42. ABB Voima-anturi

### 4.5.3 Asentomittaukset

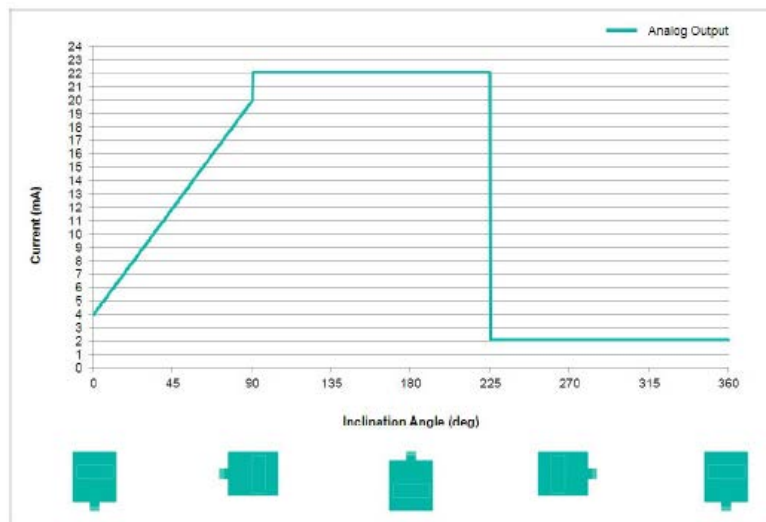
Koneessa mitataan kontaktitelan ja tanssijatelan asentoa. Kontaktitelanasentomittaus vaaditaan, jotta koneella pystytään ajamaan tarvittaessa myös kontaktitela ylhäällä. Tanssijatelan asentotieto taas on välttämätön, jos tanssijatela on käytössä. Molemmissa asentomittauksissa käytetään inklinometriä. Inklinometri antaa sähköisen virta- tai jännite viestin riippuen laitteen kulmasta maan pintaan nähden.

Inklinometrin toiminta perustuu painovoimaan. Alla olevassa kuvassa 43 on kuvattu anturin sisäinen rakenne. Pieni massainen levy, johon on kiinnitetty elektrodisauvat jokaiselle sivulle, on jousien varassa. Levyyn kiinnitetyt elektrodit asettuvat kiinteiden elektrodien väliin, jolloin niiden väliin muodostuu kapasitanssia. Anturin kallistuessa levy liikkuu ja kapasitanssit muuttuvat. Tästä kapasitanssin muutoksesta voidaan laskea laitteen kulma.



KUVA 43. Inklinometrin sisäinen rakenne (Posital, Inklinometers)

Inklinometrejä on saatavilla monia erityyppisiä. Isoimmat erot laitteiden välillä ovat mitauskulmassa ja ulostulosignaalin suhteen. Päivitykseen valittiin käytettäväksi Posital Fraba ADS-090 (Kuva 45). Kuvassa 44 näkyy anturin ulostulon käyttäytyminen eri kulmissa. Kuvasta nähdään, että anturi lähettää 4-20mA virtaviestin lineaarisesti skaalattuna välillä 0-90 astetta. Välillä 90-225 astetta anturin ulostulo antaa arvon 22mA ja välillä 225-360 astetta arvon 2mA. (Posital, Inklinometers)



KUVA 44. Inklinometrin ulostulon käyttäytyminen kulman suhteen (Posital, Inklinometers)



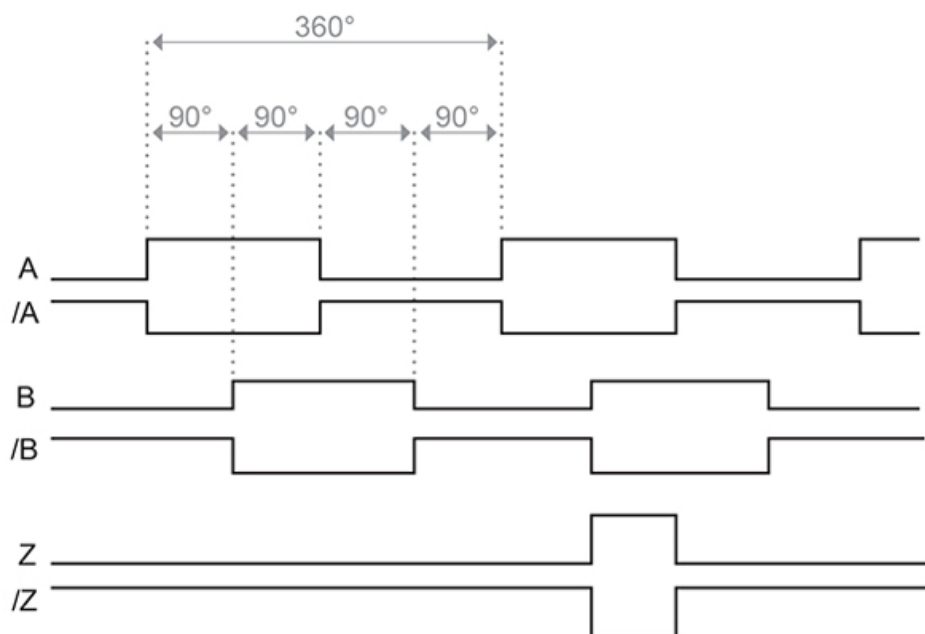
KUVA 45. Posital Fraba inklinometri (Posital, Inklinometers)

#### 4.5.4 Ratanopeus- ja moottoreiden pyörimisnopeus mittaukset

Kuten aiemmin mainittiin, konetta ohjattiin ennen päivitystä kiinnirullaimessa olevalla moottorilla ja taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajalle oli kytketty koneen ratanopeuden mittausta. Mittaus oli toteutettu pulssianturilla. Mittausta päätettiin hyödyntää päivityksessä ratanopeuden mittaukseen, koska se oli asennettu ideaalisella paikalla olevaan vapaasti pyörivään telaan. Tällöin mittaus on riittävän tarkka, jotta sitä voidaan hyödyntää myös ajopituudenlaskemisessa.

Pulssianturi antaa 1024 pulssia jokaista telan kierrosta kohden. Siemens logiikalle piti hankkia erikoisnopea laskenta kortti, jotta pulssianturin luku onnistuisi. Moottoreihin kytkettävät pulssianturit ovat toimintaperiaatteiltaan samanlaisia, kuin ratanopeuteen käytetty mittausta. Antureissa on kuusi kanavaa. Kanavat ovat A, B ja Z ja näiden invertoidut signaalit A-, B- ja Z-.

Kanavien toiminta näkyy alla olevassa kuvassa 46. A- ja B-kanavat tuottavat pulsseja 90 asteen eroilla 360 asteen kuvatussa yhtä täyttä pulssijaksoa. Pyörimissuunta tiedetään, kun tiedetään kumpi pulssi, A- vai B tulee ensin. Z-signaali antaa yhden pulssin kierrosta kohden aina samassa kohdassa. Signaalia käytetään referenssi pisteenä. Invertoituja signaaleja verrataan vastaanottimella alkuperäisiin signaaleihin. Näin voidaan varmistua, että signaali ei ole virheellinen. (Posital, Incremental Enc..)



KUVA 46. Inkrementaalisen pulssianturin toimintaperiaate (Posital, Incremental Enc..)

#### 4.5.5 Pituusnäyttö

Koneen yläpuolelle sijoitetaan digitaalinen näyttö, joka näyttää ajopituuden. Näyttö sijoitetaan koneen yläpuolelle, jotta se on näkyvässä mahdollisimman laajalti koneen alueella. Näytöksi valittiin yrityksen toiveesta Nokeval 2800 – sarjan näyttö (Kuva 47). Näytön arvon muokkaus tapoja on monia, tässä sovelluksessa päädyttiin käyttämään mallia 2800 – 2061. Kyseinen malli kasvattaa näytön lukemaa yhdellä, kun lasku – tuloon syötetään arvo 24VDC.

Tämä mahdollistaa näytön käyttämisen kahdella digitaalisella lähdöllä. Toista lähtöä käytetään laskentapulsseihin ja toista nollaamaan näyttö. Näyttöä on myös mahdollista käyttää ja ohjelmoida sen etupaneelissa olevilla kytkimillä. Tässä sovelluksessa operaattori ei tarvitse koskea näyttöön. Käyttöönotto vaiheessa näyttöön tulee ohjelmoida Pulse – parametriin mitä lukuarvoa yksi pulssi vastaa näytössä. Ohjelmointi tilaan pääsee painamalla yhtäaikaaisesti \*- ja nuoli oikealle – painikkeita kaksi sekuntia. Ohjelmoitavat parametrit ja tarkemmat ohjeet ohjelmointi valikossa liikkumiseen löytyy työn liitteestä 2. (Nokeval, kenttänäytöt)



KUVA 47. Nokeval pituusnäyttö (Nokeval, kenttänäytöt)

#### 4.5.6 Turvaskanneri

Koneeseen oli ennen päivitystä lisätty turvaskanneri. Skanneri oli nykypäiväinen ja vasta hiljattain lisätty, joten sitä päädyttiin hyödyntämään päivitetyssä koneessa. Skannerin tyyppi oli SICK S30A-4011CA (Kuva 48). Kyseinen skanneri täyttää sil2 ja cat 3 turva-vaatimukset.

Turvaskanneriin voi ohjelmoida kaksi eri aluetta. Ensimmäinen alue on ns. varoitusalue. Tämä voidaan asettaa maksimissaan 49 metrin päähän skannerista. Jos skanneri havaitsee ihmisen tai esineen ohjelmoidulla varoitusalueella, kytkeytyy skannerin varoitusalue aktivoitu lähtö päälle. Tämä lähtö tuodaan logiikalle ja sitä käytetään merkkivalon syyttämiseen ja merkkiäänän antamiseen. Näin pyritään välttämään inhimillisestä erheestä johtuvat hätäseis pysäytykset.

Toinen ohjelmoitava alue on ns. pysäytysalue. Alue voi ulottua maksimissaan 7 metrin päähän skannerista. Jos skanneri havaitsee ihmisen tai esineen tällä alueella kytkeytyvät sen OSSD1 ja OSSD2 pois päältä. Skannerin ohjelmointi ja käyttöönotto tapahtuu SICK CDS – ohjelmistolla. (SICK, Ohjekirja)

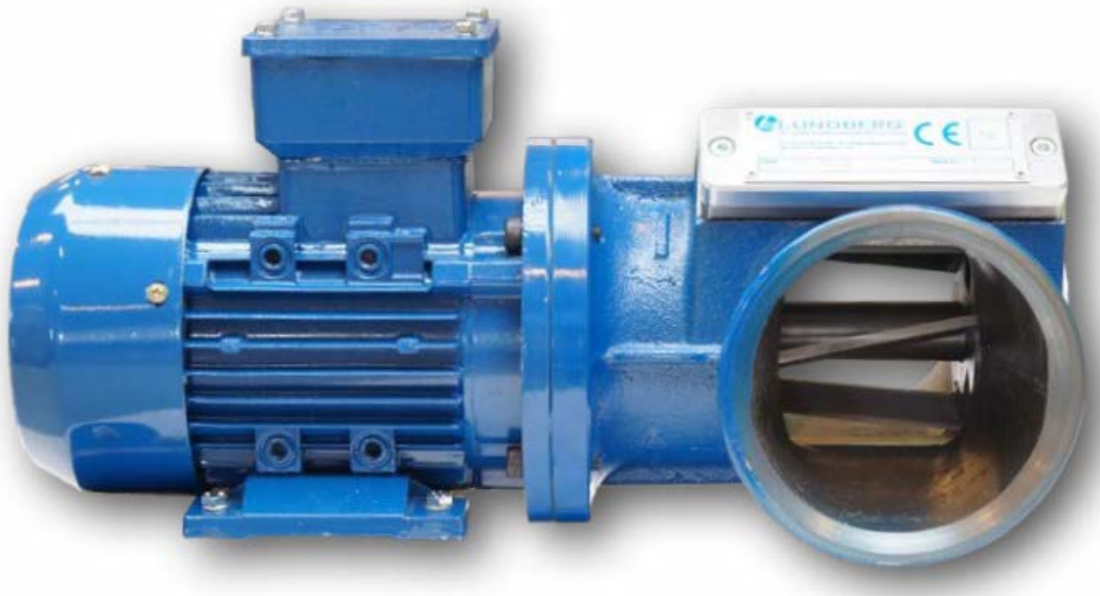


KUVA 48. SICK turvaskanneri (SICK, Ohjekirja)

#### 4.5.7 Reunanauhasilppuri

Uudelleenrullauksessa on usein tarvetta leikata radan reunasta/reunoista kapeaa nauhaa pois. Tämä reunanauha ohjataan putkistoon, jossa on imu. Nauha ajautuu silppurille ja siitä edelleen jätepuristimelle. Koneen läheisyydessä on hiljattain uusittu reunanauhasilppuri, joten sitä päätettiin hyödyntää päivityksessä.

Silppurin ohjaus tuodaan päivityksen yhteydessä pääpulpetille, jotta kaikki koneeseen liittyvät sähköiset komponentit olisivat yhdessä paikassa. Silppuria ohjataan yksinkertaisella suoralla moottorilähdöllä, joka koostuu johdonsuojasta, moottorinsuojakytkimestä ja kontaktorista. Reunanauhasilppurin rakenne näkyy alla kuvassa 49. (Lundberg, verkkosivu)



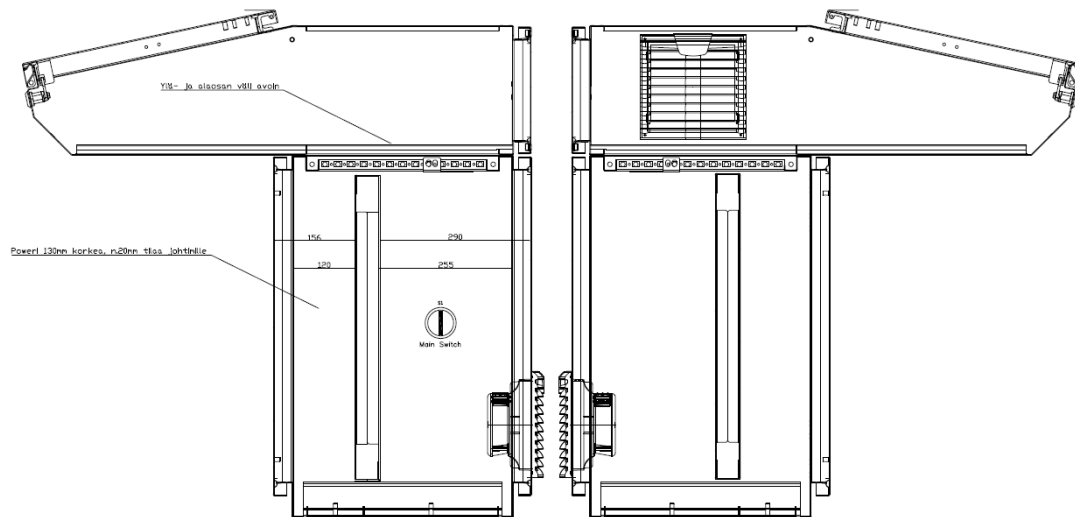
KUVA 49. Esimerkki reunanauhasilppurin rakenteesta (Lundberg, verkkosivu)

## 4.6 Pääpulpetti ja operointipaneelit

Tässä osiossa esitellään päivitetyn koneen sähkölaitteiston kotelointi ja operointipaneelin suunnittelu.

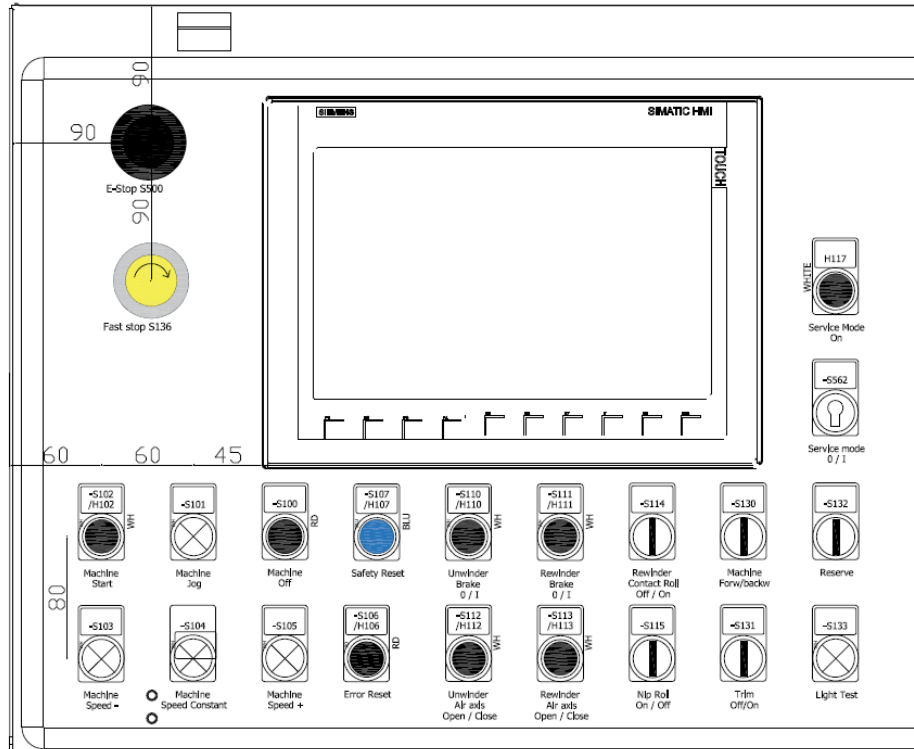
### 4.6.1 Pääpulpetin rakenne

Sähkökeskuksen ja erillisen pääoperointipaneelin sijaan päivityksessä päädyttiin yhdistämään nämä kaksi yhdeksi pääpulpetiksi. Pääpulpetti jaettiin kahteen osaan. Etupuolelle sijoitetaan kaikki 24VDC laitteet ja takapuolelle kaikki 400VAC laitteet. Tämä pienentää sähkömagneettisten häiriöiden mahdollisuutta ja mahdollistaa pienemmän pulpetin käytön, koska asennus pinta-ala tuplaantuu. Pulpetin rakenne on kuvattu alla kuvassa 50.



KUVA 50. Pulpetin sivu layout

Pulpetin päällysosaan sijoitettiin Siemensin Basic HMI-paneeli ja koneen ohjaukseen käytetyt painonapit / valintakytkimet. HMI – paneelia käytetään asetusarvojen, kuten rantaopeuden ja kireyksien asettamiseen. Paneelilla on useita muitakin toimintoja, ne on kuvattu tarkemmin työn osiossa 5.3. Pääpulpetista löytyy kaikki koneen ohjaukseen käytetyt toiminnot. Koneita on mahdollista ajaa käyttäen pelkästään pääpulpettia. Kaikki pääpulpetissa olevat painonapit ja valintakytkimet näkyvät alla kuvassa 51. Pulpetin päälle on jätetty tilaa mahdollista tietokonetta varten.



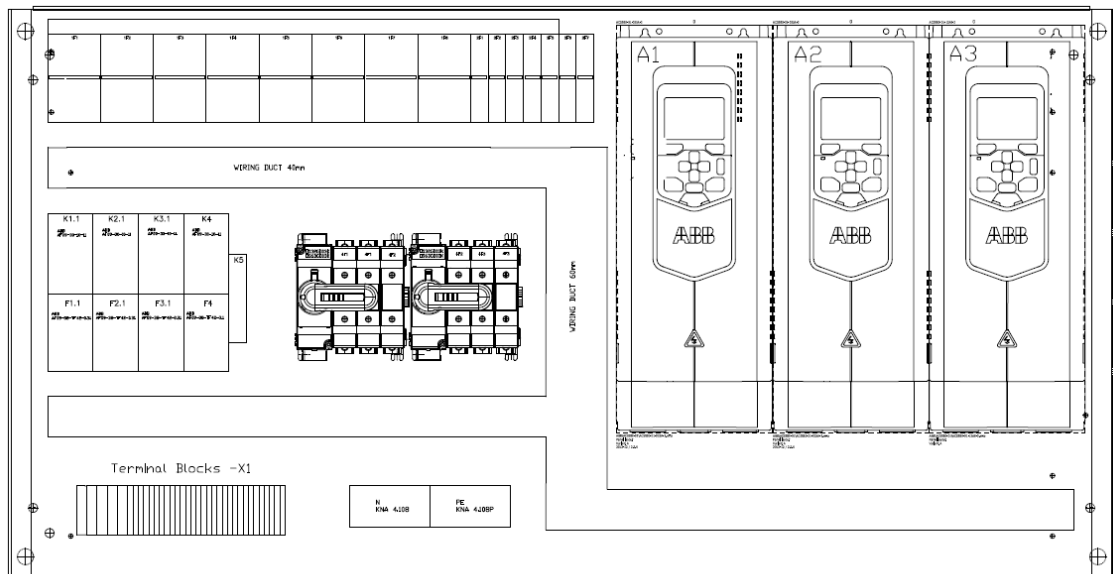
KUVA 51. Pääpulpettiin sijoitettavat painikkeet ja HMI – paneeli

Pulpetti kasattiin ja johdotettiin toimittajalla. Kenttälaitteet kaapeloidaan pulpetille rivi-liittimille paitsi moottorit ja jarruvastukset, jotka kaapeloidaan suoraan taajuusmuuttajille.

#### 4.6.2 Vaihtosähköpuoli

400VAC puolen rakenne on kuvattu alla kuvassa 52. Tähän on sijoitettu johdonsuojakatkaisijat kaikille koneen laitteille. Johdonsuojiksi valittiin ABB S200 – sarjan johdonsuojat ja ne mitoitettiin toimittajien suositusten ja työn osiossa 2.3.4 esitetyn teorian mukaisesti. Suoria moottorilähtöjä on neljä kappaletta. Näillä ohjataan moottoreiden jäähdytyspuhaltimia ja reunanauhasilppuria.

Moottorilähdöt ovat suojattu oikosululta johdonsuojakatkaisijoilla ja ylivirralla lämpöreleillä. Käynnistykset tapahtuvat kontaktoreilla, joita ohjataan logiikalta. Lisäksi pulpetin tästä osiosta löytyy taajuusmuuttajat, niiden tasavirtavälipiirien sulakkeet ja sulakepitimet, nolla- ja suojamaadoituskiskot ja riviliittimet, joista lähdetään kentälaitteille.



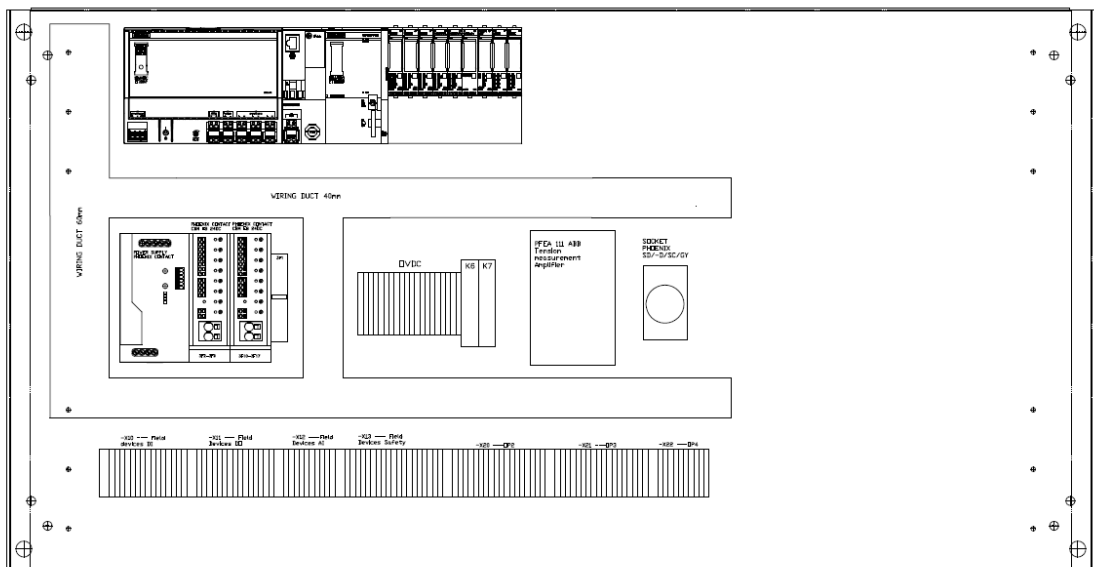
KUVA 52. Pulpetin takaosa (400VAC) asennuslevy suunnitelma

### 4.6.3 Tasasähköpuoli

24VDC puolelta löytyy Siemensin ET200SP PLC, kireysmittauksen vahvistin, kaksi kappaletta 24VDC tehonlähteitä, elektroniset monikanavaiset ylivirtasuojat, pistorasia ja riviliittimet kenttälaitteille. Monikanavaisia elektronisia ylivirtasuojia käytetään koneen 24 voltin lähtöjen suojaamiseen. Phoenix Contactin tarjoamassa ratkaisussa on mahdollista säätää jokaisen kanavan maksimivirta välillä 0,5 – 10A ja kanavia on kahdeksan kappaletta. Käyttämällä monikanavaisia ylivirtasuojia säästetään tilaa, nopeutetaan asennusta ja helpotetaan suunnittelua.

Tehonlähteitä on kaksi kappaletta. Ensimmäinen on Siemensin ET200 – sarjalle tarkoitettu 10A tehonlähde. Tätä käytetään logiikan käyttöjännitteen ja HMI – paneelin käyttöjännitteen syöttämiseen. Toinen on Phoenix Contactin 20 A Quint – sarjan tehonlähde. Quint – sarjaa käytetään yrityksessä yleisesti sen korkean luotettavuuden ja hyvän diagnostiikan takia. Quint – tehonlähdettä käytetään logiikan korttien, mittauksien ja venttiiliyksikön tehonsyöttöön. Tehonlähde mitoitettiin summaamalla kaikkien 24V laitteiden virrat yhteen. Laitteiden virrat löytyvät lähes poikkeuksetta laitteen teknisistä tiedoista.

Logiikan jokainen kortti suojattiin erillisellä kanavalla. Tällöin vianhaku kortin rikkoutuksessa on nopeaa. Kaikki pulpetista kentälle lähtevät johtimet johdotettiin valmiiksi riviliittimille asennuksen nopeuttamiseksi. Asennuslevyn suunnitelma näkyy kuvassa 53.




KUVA 53. Pulpetin etuosan (24V) asennuslevy suunnitelma

#### 4.6.4 Jäähdytys

Keskuksen jäähdytys toteutetaan puhaltimella ja poistoilma-aukolla. Puhaltimen mitoitus tehtiin Rittalin Therm – sovelluksella. Sovelluksessa valittiin käytetty pulpetti ja sen sisään sijoitettavat laitteet. Sovellus laskee komponenttien aiheuttaman lämpökuorman, vähentää siitä pulpetin seinien läpi haihtuvan lämmön ja kertoo vaaditun ilmavirran. Sovellukselle kerrotaan laitteiden käyttöaste prosentteina. Tämä prosentti kertoo, kuinka paljon laitteet ovat keskimäärin käytössä tuntia kohden. Kertoimeksi arvioitiin 40%.

Lisäksi määritellään maksimilämpötila kaapin ulkopuolella ja sisäpuolella. Maksimiulkolämpötilaksi määriteltiin 30 asetetta. Tehdashalli pysyy kesäisinkin lattiatasolla tämän alapuolella. Maksimisisälämpötilaksi määriteltiin 40 astetta, joka määräytyi komponenttien lämpökestoisuudesta.

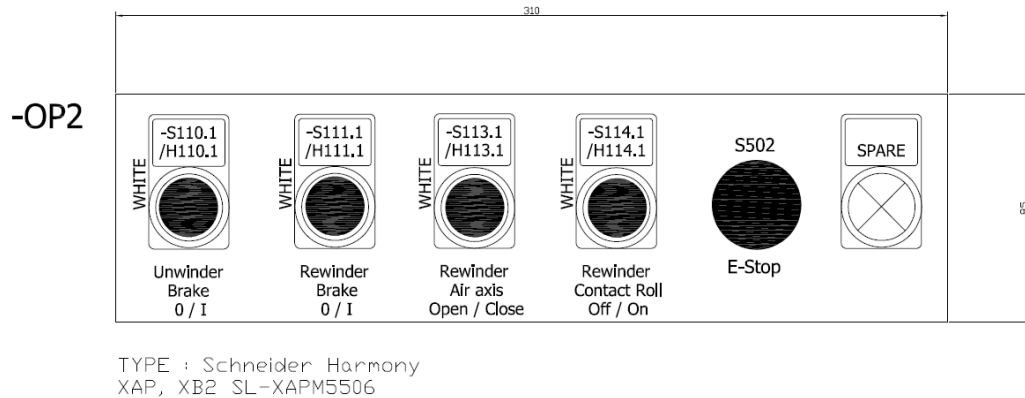
Laskennan tulos näkyy alla olevassa kuvassa 54. Kuvasta nähdään, että pulpettia lämmitävä teho on 243W. Jotta pulpetin lämpötila pysyy alle sallitun rajan kaikissa tilanteissa, tulee kaappiin asentaa puhallin, joka tuottaa 83m<sup>3</sup>/h ilmavirran. Puhallin asennetaan pulpettiin siten, että se puhaltaa viileää ilmaa pulpetin alaosaan. Taajuusmuuttajat ovat pulpettia ylivoimaisesti eniten lämmittävät komponentit ja ne ottavat jäähdytysilmansa alakautta. Lämmin ilma pääsee poistumaan pulpetista yläreunaan asennetun poistoilmasuodattimen kautta. Puhaltimen ja poistoilma-aukon sijoitus näkyvät kuvassa 50.

 <b>Calculation</b>			
Details & product selection			
Parameters			
Effective surface area	2,3 m <sup>2</sup>		
Installed heat loss	370 W	Total heat loss	243 W
Dissipation via surface	127 W	Medium internal enclosure temperature without climate control	59 °C

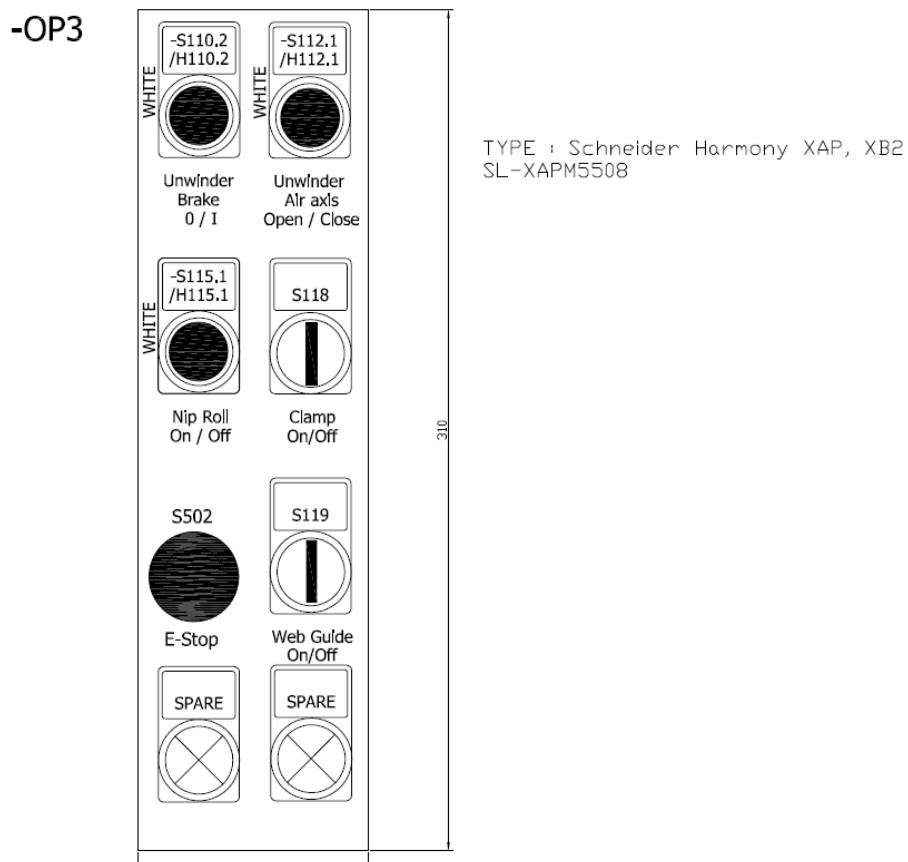
KUVA 54. Rittal Therm – ohjelmisto laskenta tulos

#### 4.6.5 Operointipaneelit

Koneella on kaksi painonappikoteloja, joita käytetään operointiin koneen ollessa pysähtynyt. Ne ovat sijoitettuna lähelle operointipaikkoja. Operointipaneeli 2 (OP2) on kiinnirullaimella ja näkyy kuvassa 55. Operointipaneeli 3 (OP3) on teräaseman vieressä ja on tarkoitettu aukirullaimen ja nippitelan operointiin. Paneeli näkyy kuvassa 56.



KUVA 55. Kiinnirullaimen operointipaneeli



KUVA 56. Aukirullaimen ja nipin operointipaneeli

Lisäksi aukirullaimelle lisätään riippuohjain, josta voidaan hallita koneen nopeutta ajon aikana. Ohjain on Schneiderin valmistava hyllytuote (Kuva 57).



KUVA 57. Aukirullaimen nopeus riippuohjain (Schneider, verkkosivu)

## 4.7 Dokumentointi

Sähkösuunnittelun olennaisena osana oli dokumentointi eli sähkökuvien piirtäminen. Esimerkit erilaisista sähkökuvista löytyvät työn liitteestä 1. Dokumentointi pyrittiin tekemään mahdollisimman helposti luettavaksi ja ymmärrettäväksi. Kaikkien sähkökuvien esittelyä ei työssä tehdä kuvien määrästä johtuen.

Johdin numerointi toteutettiin vastaamaan loogisesti, joko syöttävää suojalaitetta tai I/O – osoitetta. Esimerkkinä johdonsuojalta 2F1 lähtevä vaihejohdin on numeroitu 210. Tulojen ja lähtöjen osoitteet alkavat molemmat kymmenestä. Ensimmäiseen tuloon I10.0 tuleva johdin on numeroitu 1000. Ensimmäisestä lähdöstä Q10.0 lähtevä johdin on nimetty 1005 ja niin edelleen.

## 5 SOVELLUSSUUNNITTELU

### 5.1 ABB Taajuusmuuttajat

Moottoreiden ohjaus toteutetaan ABB:n ACS 880 – taajuusmuuttajilla, jotka on varustettu ”Winder control program” – sovelluksella. Sovellus mahdollistaa osittain laskennan siirtämistä PLC:ltä käytöille.

Kommunikaatio PLC:n ja taajuusmuuttajien välillä tapahtuu Profinet – väylän kautta. Tätä varten taajuusmuuttajiin asennettiin Profinet – moduulit (FPNO-21). Kommunikointi toteutettiin PPO – viesteillä (Parameter process data object). PPO koostuu PZD (process data) ja PKW (parameter values) sanoista. Yhteen PPO – viestiin mahtuu eri määrä sanoja riippuen käytetystä PPO – tyylistä. Suurin mahdollinen yhteen PPO-viestiin sovitettavien sanojen määrä on 24, 12 lähtevää ja 12 palaavaa sanaa. PPO – viestejä käytetään Profibus ja Profinet kommunikointiin. Alla olevassa kuvassa 58 näkyy esimerkki viestin rakenteesta. Jokaisen sanan sisältö kerrottiin käytölle parametreilla. (ABB – FPNO21)

Direction	PZD1	PZD2	PZD3	PZD4	PZD5	PZD6
Out	Control word	Speed reference	Acc time 1		Dec time 1	
In	Status word	Speed actual value	Motor current		DC voltage	

Kuva 58. Esimerkki PPO 4 – viestillä ohjattavasta nopeusohjattavasta käytöstä (ABB – FPNO21)

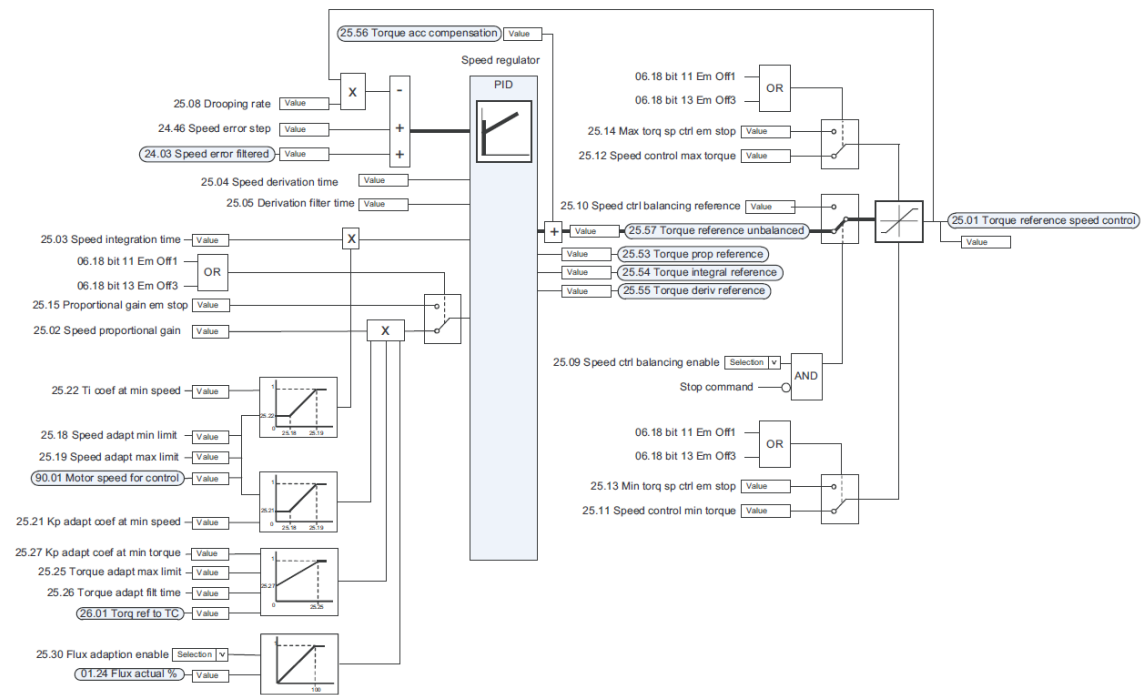
Käyttöjen ohjaus tapahtui ohjaussanan ja tilasanan avulla. Ohjaussanan ja tilasanan sisältö voidaan määrittää erilaisilla valmiilla ratkaisuilla, kuten ABB – Pro (ABB:n oma sana malli) tai Profidrive (Profinet standard sanamalli). Vaihtoehtoisesti ohjaussanan ja tilasanan sisältö voidaan määrittää itse käytön parametreissa. (ABB -FPNO21)

Sovelluksen avulla voidaan toteuttaa kaikki rullauksessa käytetyt olennaiset laskennat. Käytön konfigurointi aloitetaan kertomalla, onko kyseessä auki – vai kiinnirullain. Myös pääkäyttö voidaan toteuttaa sovelluksella. Tällöin tulee tietää vetäkö vai työntäkö pääkäyttö materiaalia. Sovellukselle on parametroitava rullattavan materiaalin ominaisuudet.

Nämä parametrit tullaan tuomana käyttöille väylän kautta, koska materiaalit vaihtelevat paljon. (ABB – Winder)

### 5.1.1 Nopeus

Käyttöille annetaan ratanopeusohje (m/min), jonka sovellus muuntaa moottorinpyörimisnopeudeksi halkaisija tiedon avulla. Asetusarvoa verrataan moottorinnopeuden takaisin-kytkentään tai laskennalliseen nopeuteen ja näiden erotuksesta muodostetaan erosuure. Erosuure tuodaan käytön sisäiselle PID – säätimelle, joka muodostaa momenttisäätimen momenttiohjeen. Momenttiohjeen jatkokäsittely on kuvattu työn osiossa 2.3.3. (ABB – Winder)



KUVA 59. Nopeussäätimen lohkokaavio (ABB – Winder)

## 5.1.2 Halkaisija ja pituus

Sovelluksen laskennassa olennaista on halkaisijatieto. Halkaisijan selvittämiseksi tarjotaan useita vaihtoehtoja. Yksinkertaisin vaihtoehto on mitata halkaisijaa ja tuoda tieto käytölle. Tämä on kuitenkin todettu yrityksessä ongelmalliseksi ja yrityksessä suositaan laskennallista halkaisijaa. Halkaisijan laskentaan sovellus tarjoaa kahta eri vaihtoehtoa. Molemmat menetelmät vaativat rullan aloitus halkaisijatiedon mitattuna tai käyttäjän syöttämänä, jos aloitushalkaisija ei aina ole sama. (ABB – Winder)

Ensimmäinen tapa on laskea halkaisijaa moottorin pyörimisnopeuden ja radanpintanopeuden suhteen. Kun tiedetään moottorin pyörimisnopeus ja radanpintanopeus, voidaan halkaisija laskea kaavalla 21, jossa

$v$  = ratanopeus (m/min)

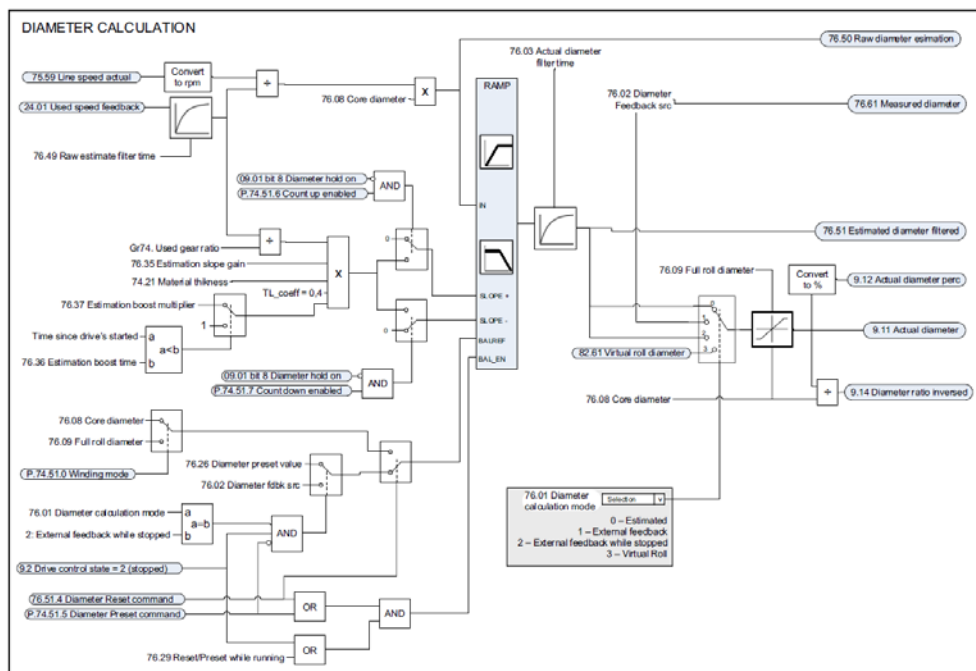
$n$  = pyörimisnopeus (1 / min)

$d$  = rullan halkaisija (m)

$$v = \pi n d$$

$$d = \frac{v}{\pi \cdot n}$$

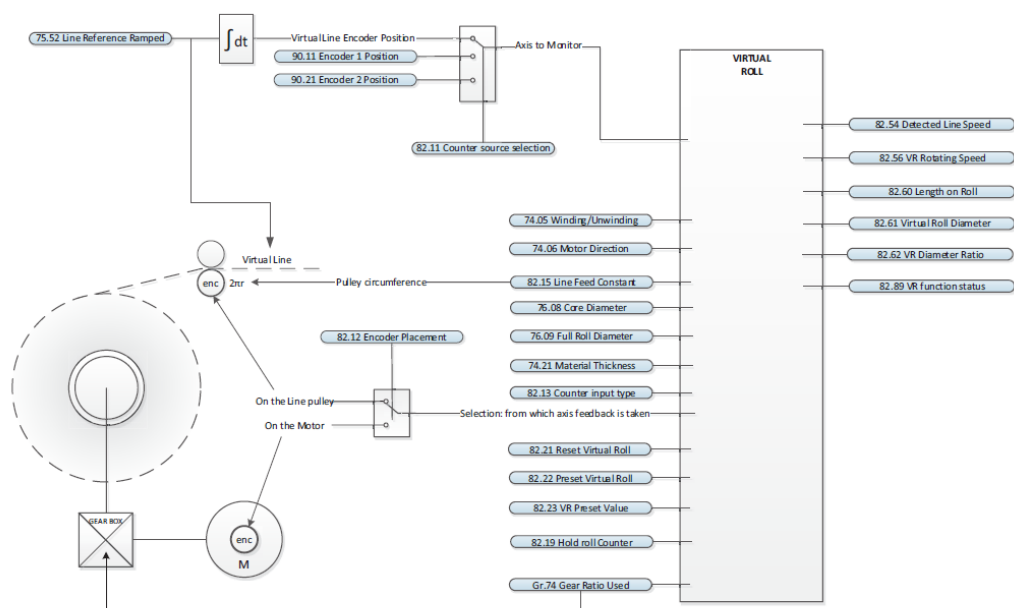
Tämä menetelmä otetaan käyttöön asettamalla parametri 76.01 ”Diameter Calculation mode” arvoon estimated tai external feedback at stop. Laskenta kuvattu alla kuvassa 60.



KUVA 60. Halkaisija laskennan lohkokkaavio (ABB – Winder)

Toinen vaihtoehto perustuu pelkästään ratanopeuden tai moottorinnopeuden mittaamiseen. Kun alkuhalkaisija tiedetään, tiedetään myös kehänpituus. Kun käytölle syötetään vielä materiaali paksuus, pystyy se laskemaan halkaisijan muutosta. Tämä menetelmä otetaan käyttöön asettamalla parametri 76.01 arvoon Virtual Roll.

Virtual roll – funktion toimintaa kuvaava lohkokaavio on alla olevassa kuvassa 61. Halkaisijan laskentaa voidaan molempia tapoja käytettäessä hallita ohjaussanaan määritettävien bittien kautta. (ABB – Winder)



KUVA 61. Virtuaalirulla funktion ”Virtual Roll function” lohkokaavio (ABB – Winder)

Molemmista menetelmistä sovellus osaa laskea rullan pituuden. Kun tiedetään halkaisija ja materiaali paksuus, voidaan materiaalin pituus laskea kaavasta 20, jossa

$r$  = rullan säde (m)

$c$  = materiaali paksuus (m)

$l$  = materiaali pituus (m)

$$A_1 = A_2$$

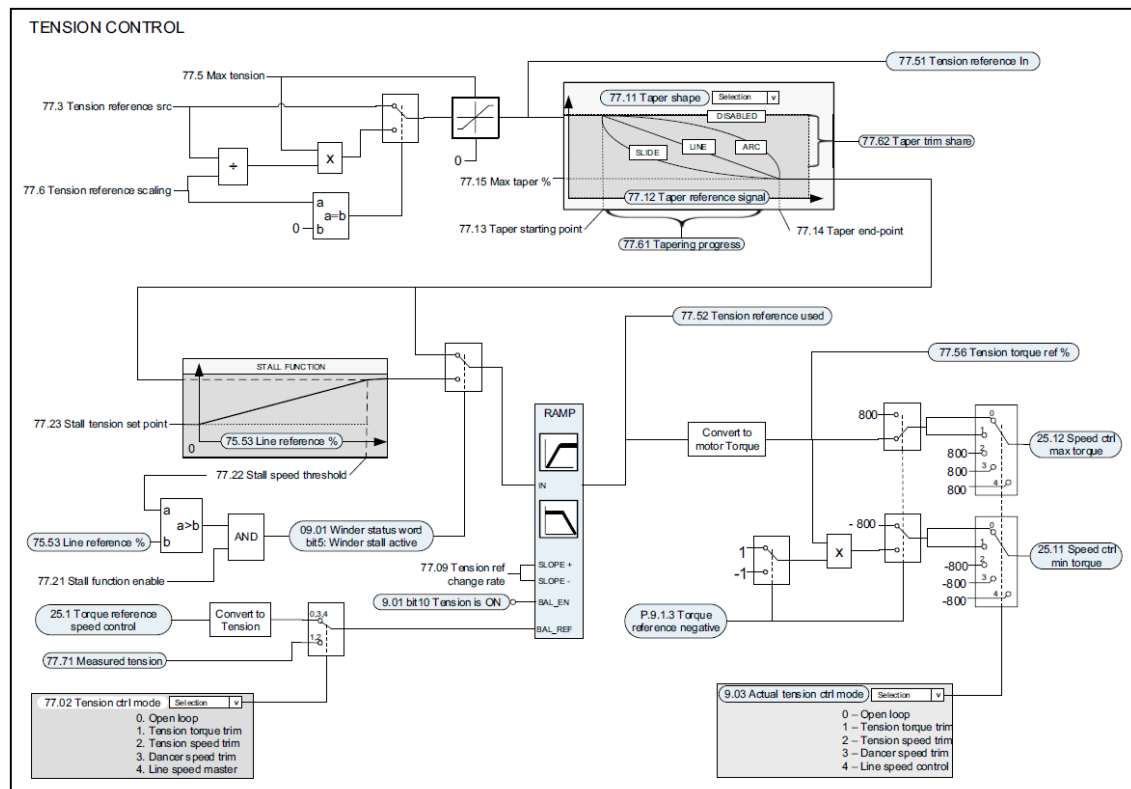
$$\pi r^2 = c \cdot l$$

$$l = \frac{\pi r^2}{c}$$

### 5.1.3 Kireyden hallinta

Sovellukselle tuodaan ratakireyden asetusarvo muodossa N/m. Asetusarvon käsittely näkyy kuvassa 62. Jos kireyden heikennys funktio (Tapering) on käytössä, suoritetaan kireydelle parametreilla määritetyn käyrän ja amplitudin mukainen heikennys. Jos hidastus – funktio (Stall) on käytössä, aktivoituu se nopeusohjeen alittaessa tietyn rajan. Funktiota käytetään helpottamaan kireyden hallintaa alhaisilla nopeuksilla muuttamalla säädön parametrejä.

Edellä mainittujen funktioiden jälkeen kireyden asetusarvolle, tehdään parametreilla määritetty rampitus (Change rate). Tämän jälkeen kireysarvo muutetaan moottorimomentiksi työn osiossa 2.2 esitettyjen kaavojen mukaisesti. Erilaisista sovelluksen säätötyypeistä riippuu, miten moottorimomenttia käytetään. Sovelluksessa mahdollisia säätötapoja on viisi, joista tässä työssä käytetään kahta. Nämä tavat esitellään seuraavissa osioissa, joissa kerrotaan auki- ja kiinnirullaimien säädöstä. (ABB – Winder)



KUVA 62. Kireyden asetusarvon käsittelyn lohkokkaavio (ABB – Winder)

#### 5.1.4 Aukirullain

Aukirullainkäyttö toimii jarruna muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Kommunikointiin valittiin PPO7 – viesti, joka sisältää 12 sanaa molempiin suuntiin. Taajuusmuuttajalle lähetetään ABB – Pro standardi ohjaussana, ratanopeusohje (m/min), ratakireysohje (N/m), rataleveys (mm), materiaalipaksuus (um), materiaali tiheys (kg/m<sup>3</sup>) ja halkaisijamittaus. Jokainen arvo on sanan mittainen, poikkeuksena halkaisijamittaus, joka tuodaan käytölle liukulukuna. PPO7 – viesti valittiin, jotta arvoja on mahdollista tarvittaessa muuttaa tuplasanan mittaisiksi, jos vaaditaan suurempaa tarkkuutta. Tarvittaessa käytölle vietäviä arvoja on myös helppo lisätä.

Käytöltä PLC:lle luetaan tilasana, rullaussovelluksen tilasana, moottorin pyörimisnopeus, moottorin momentti, rullan inertia ja taajuusmuuttajan lämpötila. Näitä käytetään erilaisiin diagnostiikka ja ohjaus toimenpiteisiin logiikka ohjelmassa.

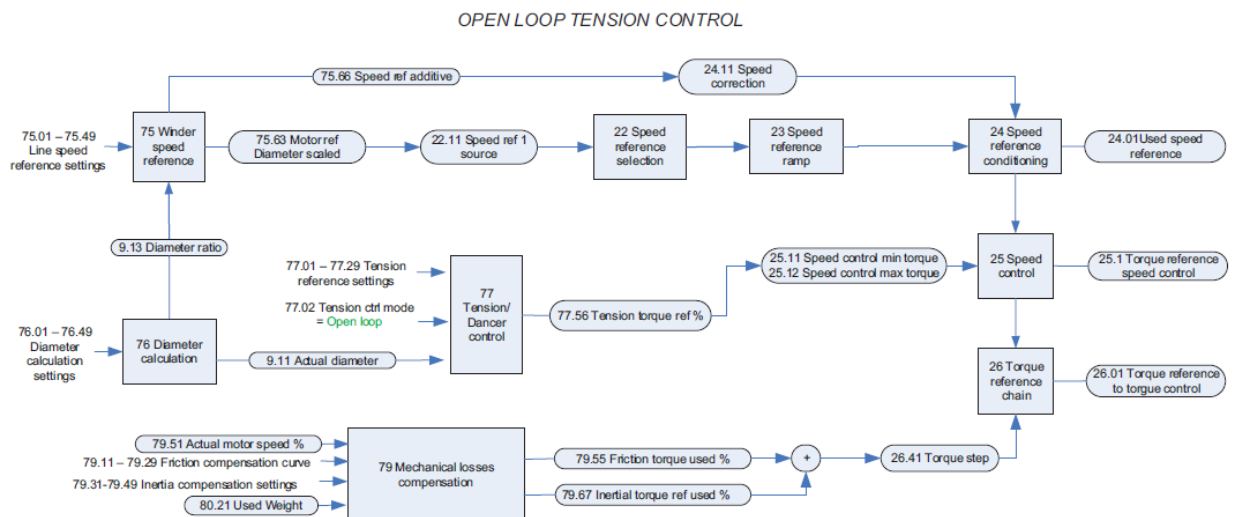
Halkaisijamittausta käytetään ainoastaan käynnistettäessä konetta. Halkaisijalaskenta tehdään aiemmin esitellyllä menetelmällä hyödyntäen ratanopeuden ja moottorinpyörimisnopeuden suhdetta. Tämä onnistuu asettamalla halkaisijatieto parametri arvoon ”External feedback at stop”.

Aukirullaimella ei ole kireysmittausta, joten sen kireyttä säädetään ilman takaisinkytkentää (Open loop tension control). Alla olevasta lohkokaaaviosta (Kuva 63) selviää säädön toiminta. Käytön nopeussäätimelle tuotavaan asetusarvoon lisätään sovelluksen toimesta ”Speed ref additive” – parametrin mukainen arvo. Tämä tarkoittaa, että nopeussäätimellä on pysyvä erosuure, joka on ”Speed ref additive” – parametrin suuruinen.

Nopeussäätimelle tuodaan lisäksi kireyden asetusarvo kuvassa 59 tapahtuneen käsittelyn jälkeen. Kireysohje määrittää momenttirajat moottorille. Nopeussäädin antaa momenttirajan laskennan päätteeksi asetusarvona momenttisäätimelle. Inertian ja mekaanisten kitkojen aiheuttamia häviöitä voidaan kompensoida sovelluksen sisäisellä laskennalla. Laskenta lisää momenttisäätimen kireysrajaan laskennan tuloksen mukaisen arvon. (ABB – Winder)

Nopeussäädin pyrkii ajamaan moottoria ylinopeudella ratanopeuteen verrattuna. Kireysohjeelta tulevat momenttirajat rajoittavat kuitenkin moottorin momenttia halutun kireyden mukaisesti. Moottori siis ajaa momenttirajaa vasten ja ylläpitää näin haluttua ratakireyttä. Jos inertian tai kitkojen kompensointi toiminnot ovat käytössä, summataan näiden aiheuttama momentin kompensointi suoraan momenttisäätimen ohjausarvoon. (ABB – Winder)

Jos moottorin pyörimisnopeus saavuttaa nopeussäätimen asetusarvon tiedetään, että kuormamomenttia ei ole. Tällöin sovellus tulkitsee tilanteen ratakatkoksi. Tätä tietoa voidaan halutessa käyttää koneen pysäyttämiseen. (ABB – Winder)



KUVA 63. Kireyssäädön lohkokkaavio ilman takaisinkytkentää (ABB – Winder)

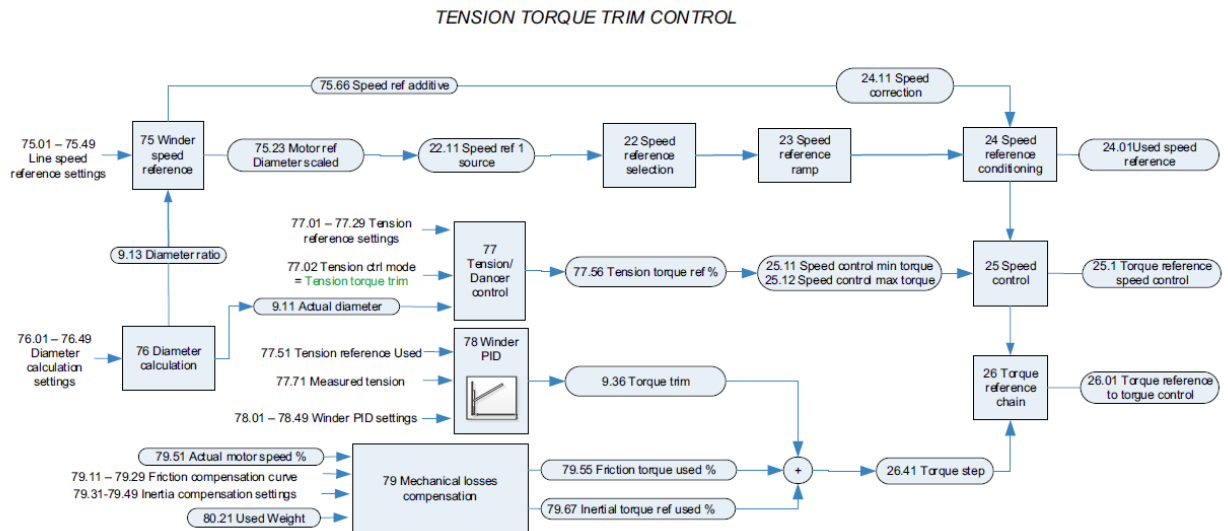
### 5.1.5 Pääkäyttö

Pääkäyttö on toiminnaltaan varsin yksinkertainen. Kommunikointia varten valittiin PPO4 – viesti. Taajuusmuuttajalle lähetetään logiikalta ABB – Pro standardi ohjaussana ja ratanopeusohje. Takaisin luetaan tilasana, sovelluksen tilasana, moottorinnopeus ja moottorinvirta. Käytön ainut säädettävä suure on nopeus ja se seuraa annettua ohjearvoa. Pääkäytöllä halkaisija laskenta on parametreilla lukittu yhteen arvoon, joka vastaa telan halkaisijaa.

### 5.1.6 Kiinnirullain

Kiinnirullain käytön kommunikointiin valittiin PPO7 – viesti. Taajuusmuuttajalle lähetetään samat parametrit, kuin aukirullaimellekin ja lisäksi vielä kireysmittaus tieto. Logiikalle luettavat parametrit ovat tismalleen samat kuin aukirullaimella ja halkaisijalaskentakin on toteutettu samalla tavalla, kuin aukirullaimella.

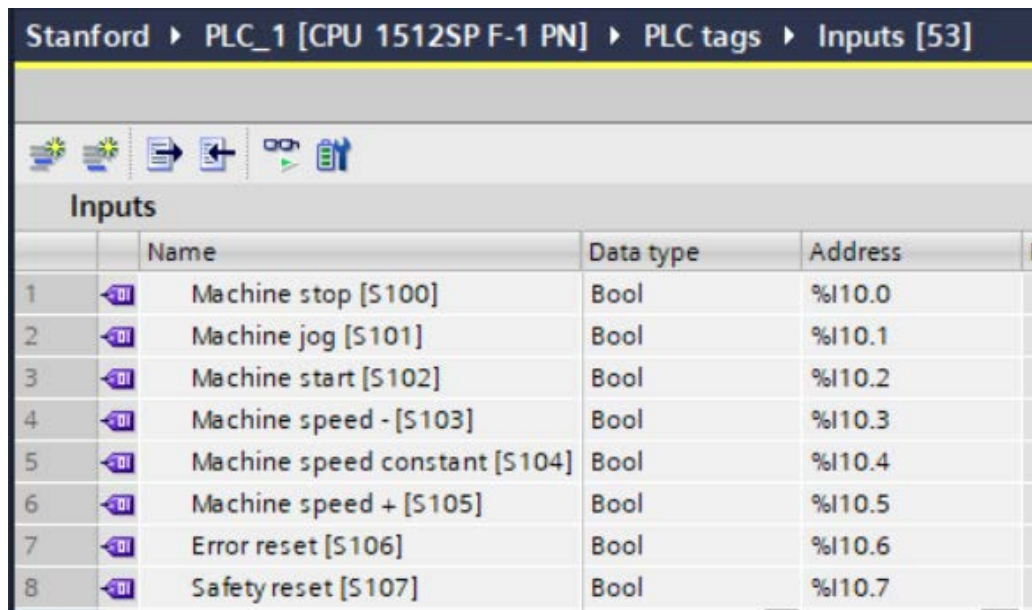
Kiinnirullaimen kireyttä säädetään käytön ”Tension torque trim control” – toiminnolla. Kyseinen toiminto toimii lähes samalla tavalla, kuin aiemmin esitelty ”Open loop tension control”. Erona on, että momenttisäätimelle tuodaan aiemmin mainittujen arvojen lisäksi sovelluksen sisäiseltä PID – säätimeltä tuleva momenttiohjaus. Tämä ohjaus muodostuu kireyden asetusarvon ja kireysmittauksen perusteella työn osiossa 2.6 esitetyn teorian mukaisesti. Toiminnon lohkokkaavio näkyy alla kuvassa 64. (ABB – Winder)



KUVA 64. Kireyssäädön lohkokkaavio takaisinkytkennällä (ABB – Winder)

## 5.2 Ohjelmitava logiikka

Logiikka ohjelma ohjaa koneen kaikkia toimintoja. Ohjelmointi tehtiin Siemensin TIA-portal V15 ohjelmistolla. Ohjelmiston ohjelmointi on tagi pohjaista. Esimerkki tulojen tagilistalta näkyy kuvassa 65. Ohjelmoitaessa osoitetta I10.0 voidaan käyttää joko symbolisella osoitteella (I10.0) tai tagiosoitteella (Machine stop [S100]).



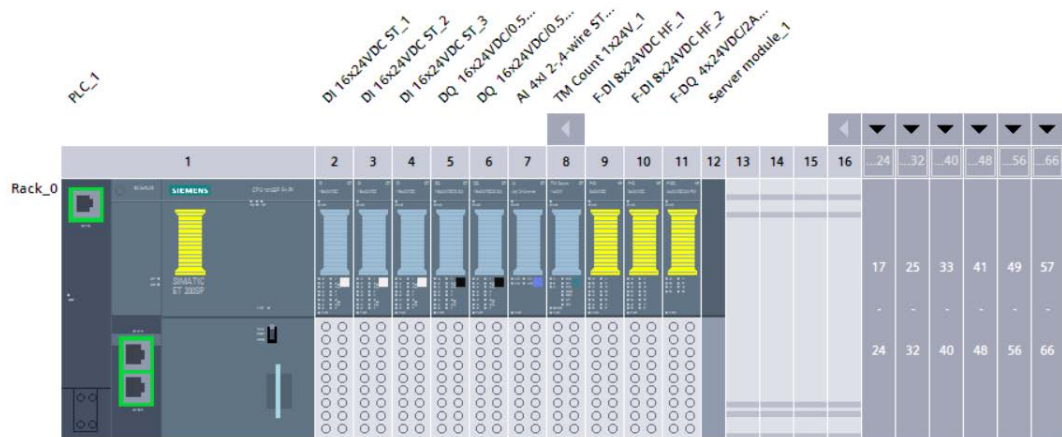
	Name	Data type	Address	F
1	Machine stop [S100]	Bool	%I10.0	
2	Machine jog [S101]	Bool	%I10.1	
3	Machine start [S102]	Bool	%I10.2	
4	Machine speed - [S103]	Bool	%I10.3	
5	Machine speed constant [S104]	Bool	%I10.4	
6	Machine speed + [S105]	Bool	%I10.5	
7	Error reset [S106]	Bool	%I10.6	
8	Safety reset [S107]	Bool	%I10.7	

KUVA 65. Esimerkki tulojen tagi – listalta

Ohjelmointi aloitettiin konfiguroimalla käytetyt laitteet eli tekemällä ns. HW- konfiguraatio. Tämä jälkeen ohjelma rakenne valmisteltiin vastamaan yrityksen käyttämää standardi lohkojako. Tässä osiossa esitellään pääpiirteittäin ohjelman rakenne, hardware-konfiguraatio ja käydään muutamia toteutettuja toimintoja esimerkkinä. Koko ohjelman läpikäyminen ei ole mielekästä sen laajuudesta johtuen.

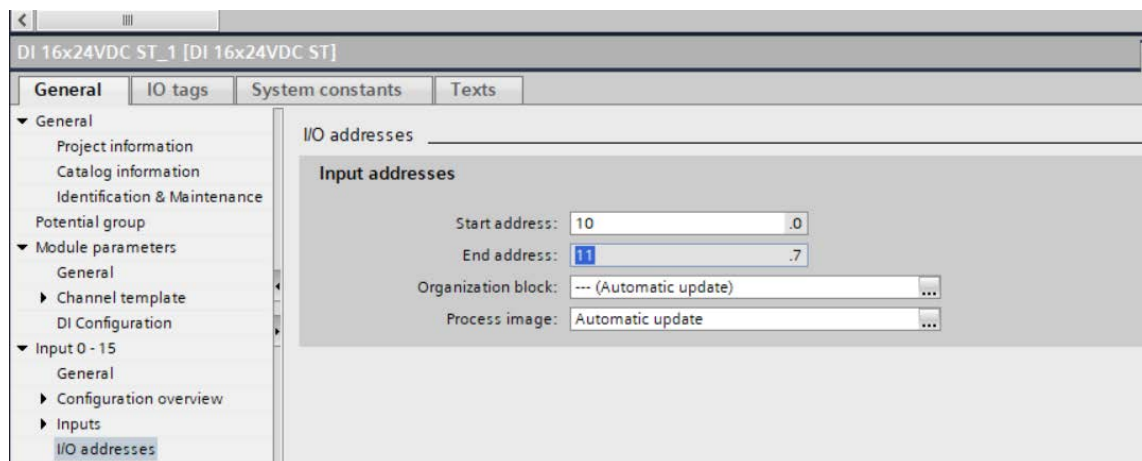
## 5.2.1 Laitteisto konfiguraatio

Laitteisto tai hardware konfiguraatiossa määritellään käytettävät laitteet, niiden välinen kommunikointi, erilaiset asetukset ja I/O – osoitteet. Alla olevassa kuvassa 66 näkyy logiikka ja siihen valitut kortit. Tähän tilaan päästään lisäämällä haluttu logiikka ”Add new device” – valikosta ja tämän jälkeen lisäämällä ”Hardware catalog” – valikosta käytetyt kortit.



KUVA 66. PLC:n hardware näkymä

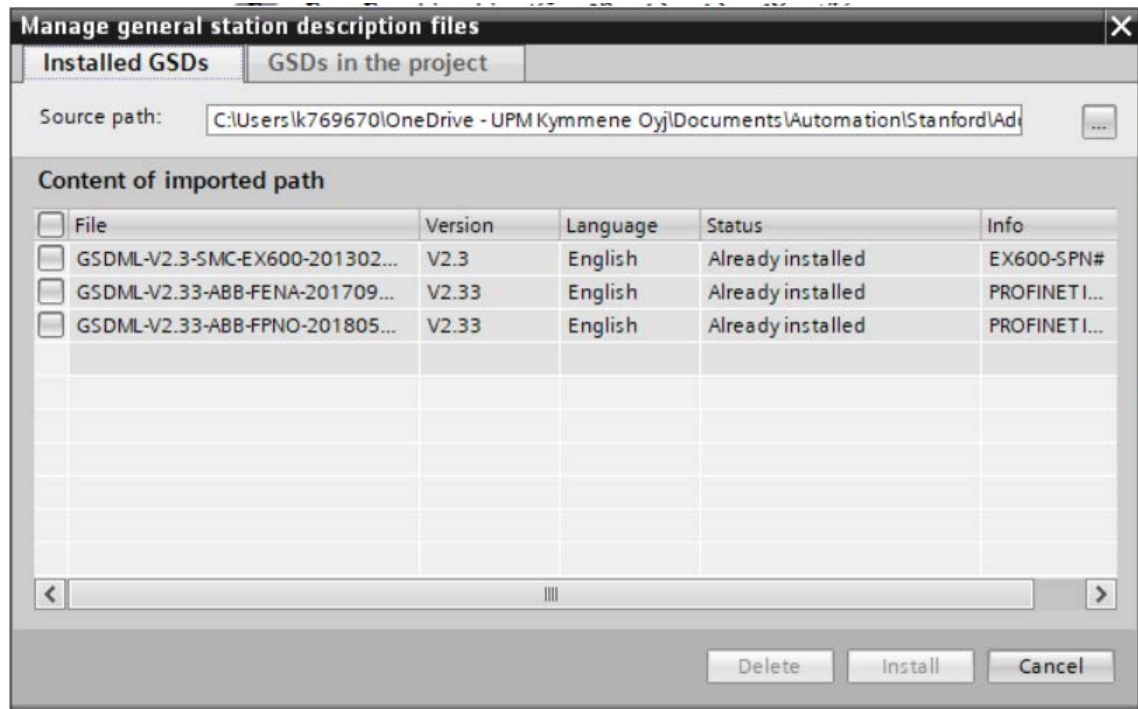
Korttien I/O – osoitteet määritettiin alla olevan kuvan 67 mukaisesta valikosta. Kortti-kohtaiset asetukset saadaan auki tuplaklikkaamalla korttia. (Siemens, TIA help)



KUVA 67. I/O-kortin asetukset

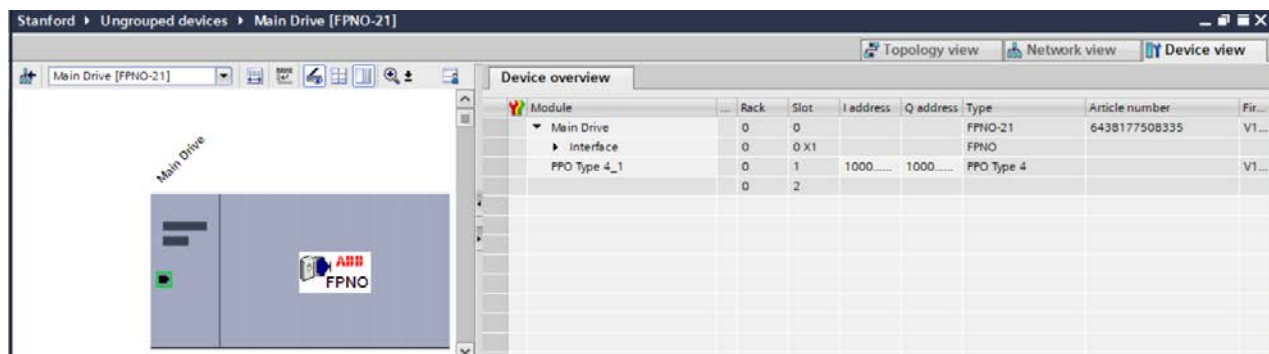
Muita kuin Siemensin laitteita varten sovellukseen täytyy tuoda laitteiden tiedot. Tämä tapahtuu lataamalla valmistajan sivuilta GSD – tiedostot (General station description) ja

asentamalla ne. Asennus tapahtuu valitsemalla Options → Install GSD – files, jonka jälkeen avautuu alla olevan kuvan 68 mukainen näkymä.

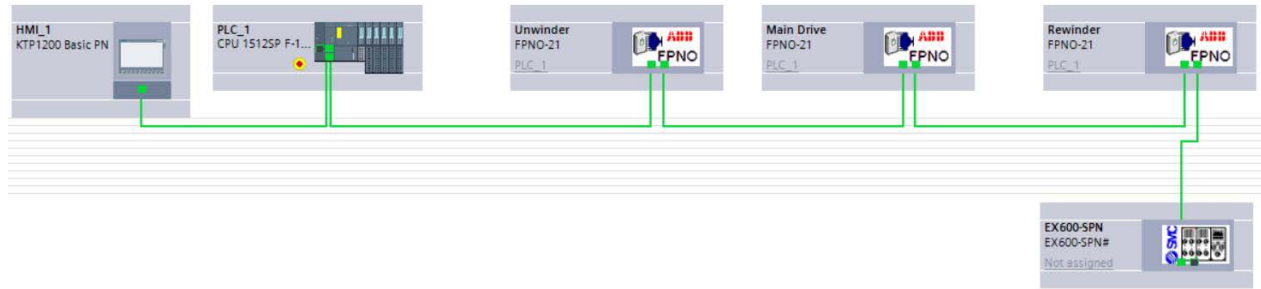


KUVA 68. GSD – tiedostojen asennus

GSD – tiedostojen asennuksen jälkeen laitteet voitiin lisätä HW – konfiguraatioon. Profinet verkon rakenne kerrotaan sovellukselle piirtämällä kaapelit laitteiden porttien väliin. Laitteiden IP – konfiguraatio voidaan myös tehdä ja asettaa laitteille TIA – portaalilla. Taajuusmuuttajien tapauksessa käydyt PPO- viestit määritellään ”Device view” näkymässä ja valitsemalla käytetty PPO – viesti ”Device overview” – valikosta (Kuva 69). Venttiiliyksikölle taas määritettiin samassa näkymässä I/O-osoitteet ja käytetyt I/O-kortit. Kuvassa 70 näkyy ”Network view” näkymä projektin laitteista.



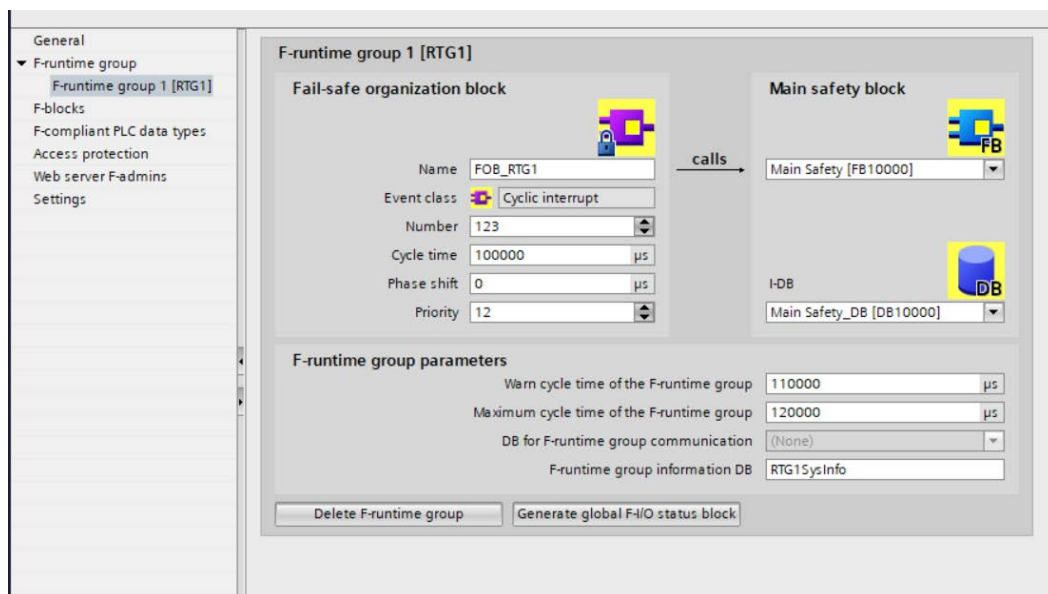
KUVA 69. Taajuusmuuttajan laite näkymä ”device view”



KUVA 70. Projektin verkkonäkymä ”network view”

## 5.2.2 Ohjelman rakenne

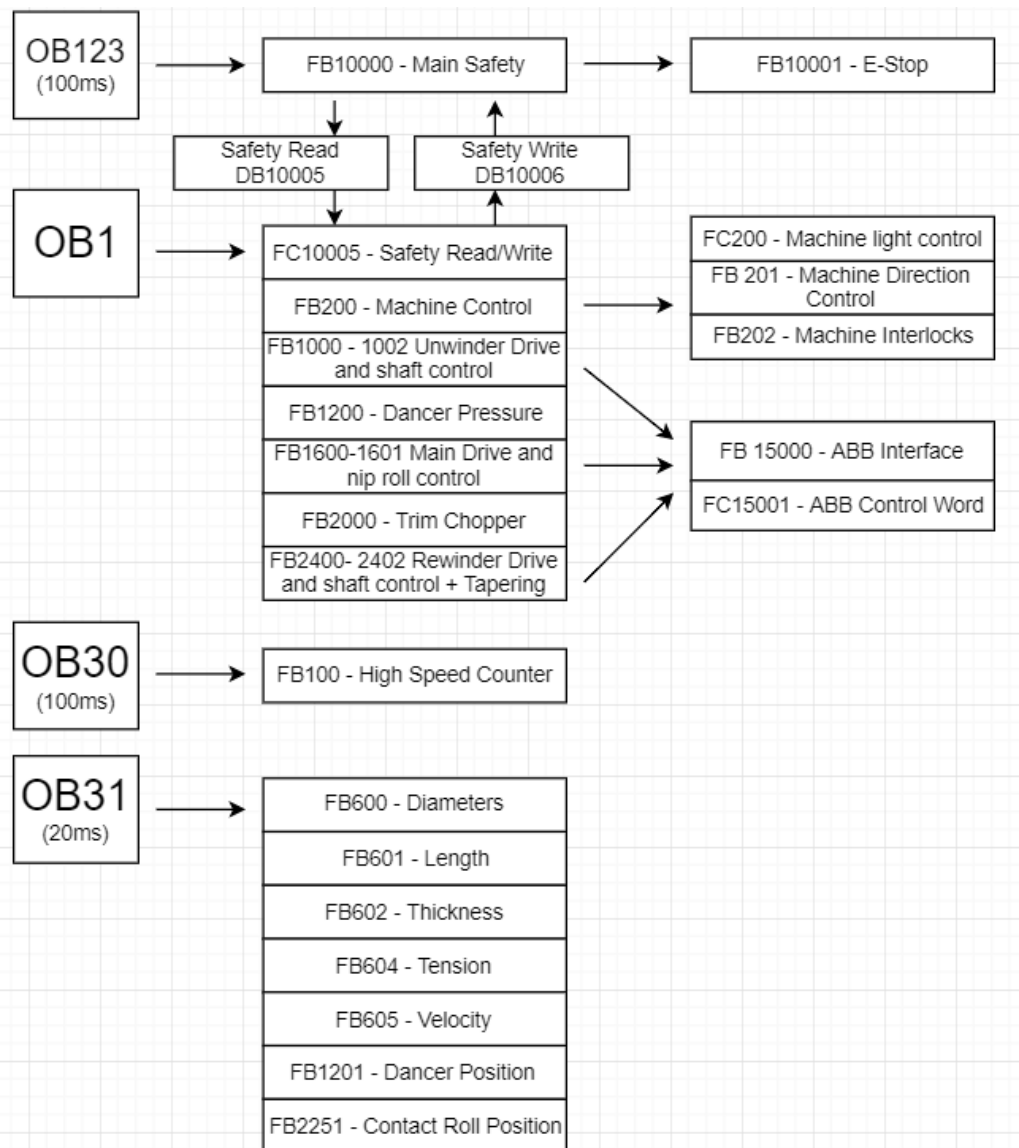
Ohjelman rakenne on kuvattu kuvassa 72. Ohjelma kutsut tehdään organisaatiolohkoissa OB1, OB30, OB31 ja OB123. OB123 käytetään turvaohjelman kutsumiseen. Ohjelmisto luo tämän lohkon automaattisesti, kun fail-safe logiikan turvatoiminnot otetaan käyttöön. Turvaohjelma voidaan isommissa sovelluksissa jakaa useaan ryhmään ja useampaan eri organisaatiolohkoon. Tässä tapauksessa ei ollut tarvetta, kuin yhdelle ryhmälle. Turvaohjelmaa kutsutaan aina syklisesti. Turvaohjelman ryhmä kohtaisia asetuksia voidaan muokata tuplaklikkaamalla OB123 lohkoa, jolloin avautuu kuvassa 71 näkyvä näkymä. Kommunikointi normaalin ja turvaohjelman välillä tapahtuu Siemensin suosituksen mukaisesti erillisen datalohkon läpi.



KUVA 71. Turvaohjelma asetukset

OB30 ja OB 31 ovat molemmat syklisiä lohkoja, kuten turvaohjelmaa kutsuva OB123. Syklisyys tarkoittaa, että niitä kutsutaan aina tietyn ajan välein riippumatta siitä missä suoritusvaiheessa ohjelma on. OB 30 sykliajaksi määritettiin 100ms ja sitä käytetään pulsianturin lukemiseen käytetyn ”High speed counter” – lohkon kutsumiseen.

OB31 sykliajaksi määritettiin 20ms ja sitä käytetään koneen parametri toimintojen ja mittausten lukulohkojen kutsumiseen. Näitä ovat pituus, halkaisija, nopeus, paksuus, kireys sekä kontaktitelan ja tanssijatelan asennot. Parametrien laskennassa ja mittaustietojen lukemisessa käytettiin yrityksen ja Siemensin valmiita lohkoja, jotka vaativat sykliajan tarkkaa laskentaa ja arvojen tulkintaa varten. OB1 – lohkoa käytetään loppujen ohjelma-lohkojen kutsumiseen. Ohjelman rakenne on kuvattu alla kuvassa 72.

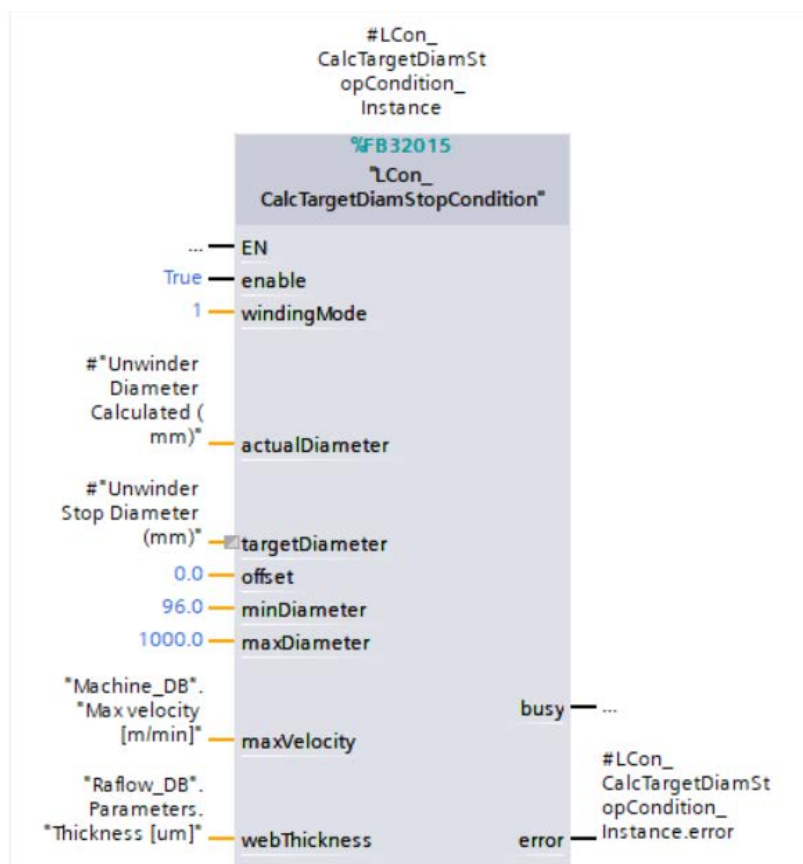


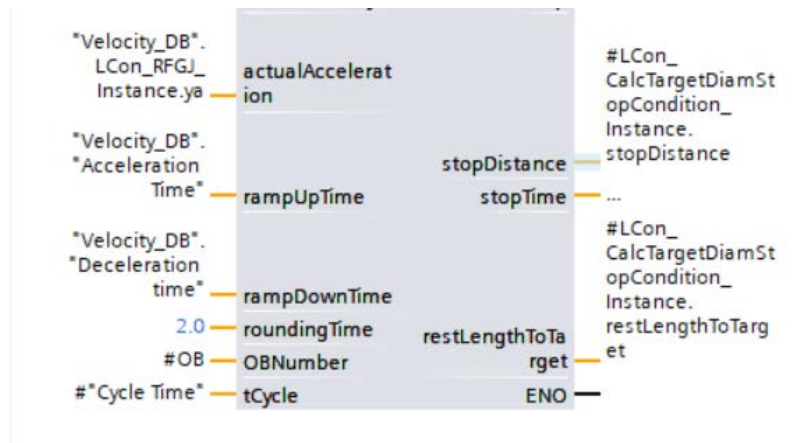
KUVA 72. Ohjelmarakenne

### 5.2.3 Ohjelmaesimerkki: pysäytys halkaisijan mukaan

Käydään läpi esimerkki, jossa toteutetaan koneen pysäytys halkaisijarajan mukaan. Pysäytysalkaisijan operaattori voi määrittää HMI – paneelista. Laskennassa hyödynnetään Siemensin valmista ”LCon - CalcTargetDiameterStopCondition” – lohkoa (Kuva 73). Lohkolle kerrotaan, onko kyseessä auki- vai kiinnirullain (windingMode). Lohkolle tuodaan useita arvoja muualta ohjelmasta, joiden avulla pysäytysmatka on mahdollista laskea.

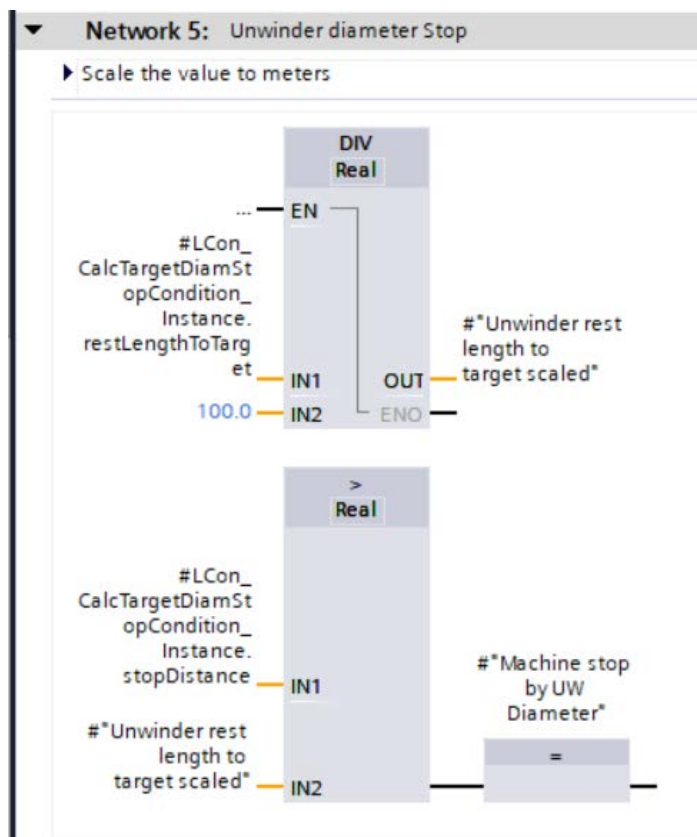
Lohkossa käytetyt arvot lueteltuna ylhäältä alas: Laskettu halkaisijatieta taajuusmuuttajalta, pysäytys halkaisija operaattorilta, minimihalkaisija (hylsyn halkaisija), maksimihalkaisija, koneen maksiminopeus, materiaalipaksuus, kiihtyvyys (nopeusramppi lohkolta), kiihdytysaika, hidastusaika ja ohjelmankiertoaika. Halkaisija – lohkoa kutsutaan OB31 sykliässä lohkoissa, jolloin sykliäika on aina sama. Laskennan tuloksena lohko kertoo jäljellä olevan matkan pysähtymiseen, ja pysäytysmatkan. Laskenta perustuu työn kohdassa 5.1.2 esitettyyn teoriaan. (Siemens, Converting library)





KUVA 73. Siemensin valmis halkaisijapysäytyslohko

Lohkon tuloksena saatu jäljellä oleva pituus pysäytykseen skaalataan tämän jälkeen metreiksi jakamalla se sadalla ja arvoa verrataan pysäytysmatkaan. Kun pysäytysmatka on suurempi, kuin pysäytykseen jäljellä oleva pituus asetetaan "Machine stop by UW Diameter" – bitti päälle, jota käytetään koneen ohjaus lohkoissa pysäyttämään kone (Kuva 74). (Siemens, Converting library)



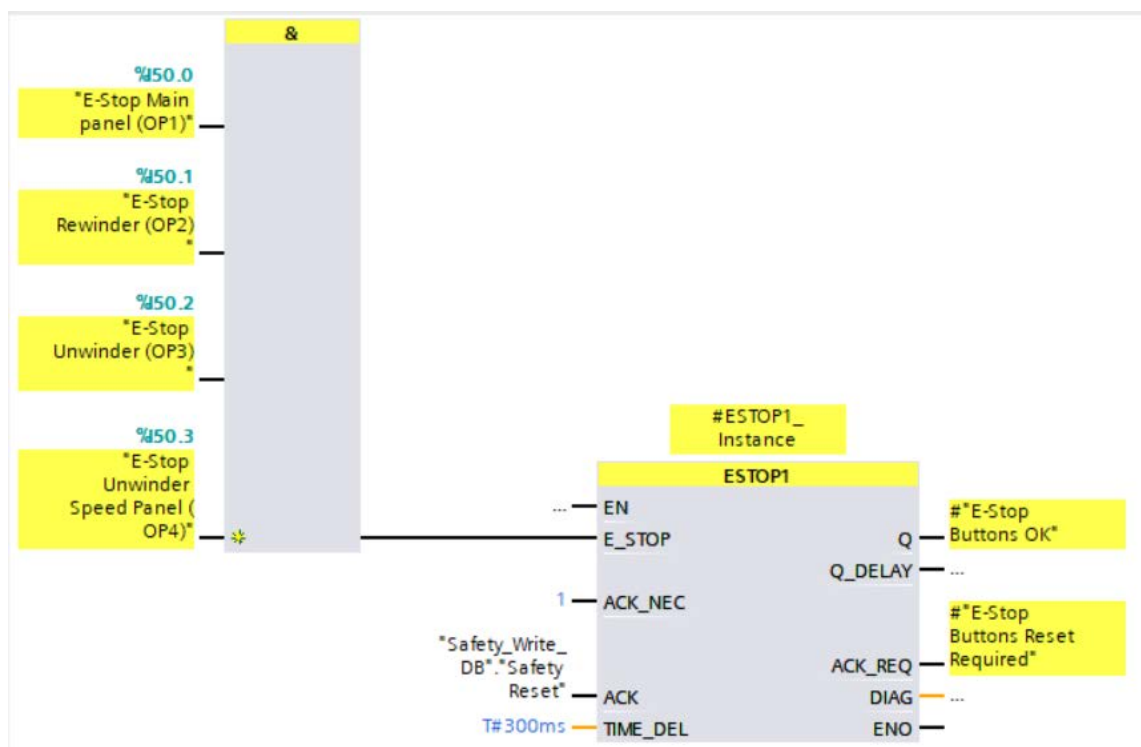
KUVA 74. Halkaisijapysäytys

## 5.2.4 Ohjelmaesimerkki: hätäseispiiri

Turva I/O määritettiin alkamaan osoitteesta I50.0. Kaikki turvakorteille johdotettavat komponentit ovat kahdennettuja. Kahdennuksesta huolimatta tuloja voidaan lukea, kuten normaalejakin tuloja. Tulon vähemmän merkitsevää bittiä käytetään ohjelmoitaessa. Alla olevassa kuvassa näkyy esimerkki turvaohjelman hätäseispainike osuudesta. Toiminnon toteuttamiseksi on käytetty Siemensin valmista Estop – lohkoa (Kuva 75).

Lohkolle tuodaan tieto hätäseis painikkeiden tilasta. Mitä tahansa hätäseispainiketta painettaessa kytkeytyy muuttuja ”E-Stop Buttons OK” pois päältä. Tätä muuttujaa käytetään hätäseis toimenpiteiden käynnistykseen. Jotta muuttuja kytkeytyy takaisin päälle, tulee hätäseispainike nostaa ja kuittauspainiketta painaa. (Siemens, TIA help)

Hätäseis tilanteessa kone pysäytetään jarruttamalla moottoreilla 5 sekunnin ajan ja tämä jälkeen paineilmahajukset katkaistaan ja taajuusmuuttajien STO – toiminto kytetään päälle.

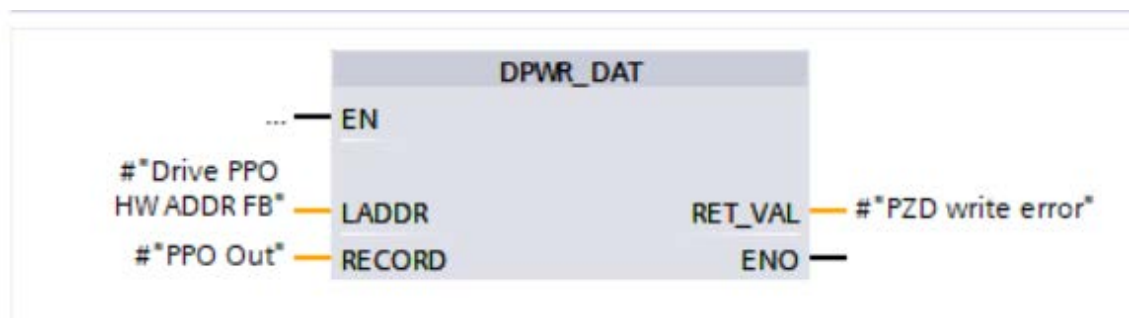


KUVA 75. Turvaohjelman hätäseis osuus

### 5.2.5 Ohjelmaesimerkki: kommunikointi taajuusmuuttajan kanssa

Viimeisenä PLC – ohjelmaesimerkkinä on kommunikointi ABB:n taajuusmuuttajan kanssa. Yksinkertaisuuden vuoksi käydään läpi ainoastaan taajuusmuuttajalle lähtevän viestin esimerkki. Kommunikointi toteutettiin ”DPWR\_DAT” lohkoa käyttäen. Lohkolle syötetään HW (Hardware)– osoite, joka kertoo mihin kirjoitetaan. Kyseisen käytön PPO – viesti varaa tietyt I/O – osoitteet logiikalta ja varaa yhden HW – osoitteen. HW – osoitteen avulla lohko osaa kirjoittaa sille määritellyt sanat siihen linkitettyihin I/O-osoitteisiin ja tätä kautta käytöille. (ABB, FPNO21)

Lohkolle määritellään lisäksi ”Struct” – muotoinen taulukko, joka sisältää kirjoitettavan datan. Tämä taulukko liitetään lohkon ”Record” porttiin. Taulukko lähetettävistä sanoista näkyy kuvassa 77 ja tuodaan lohkolle alla olevassa kuvassa 76 muodossa ”PPO Out”. (ABB, FPNO21)



KUVA 76. DPWR\_DAT – toimilohko

13			▼ PPO Out	Struct
14			PZD 1	Word
15			PZD 2	Word
16			PZD 3	Word
17			PZD 4	Word
18			PZD 5	Word
19			PZD 6	Word

KUVA 77. PPO Out taulukon rakenne

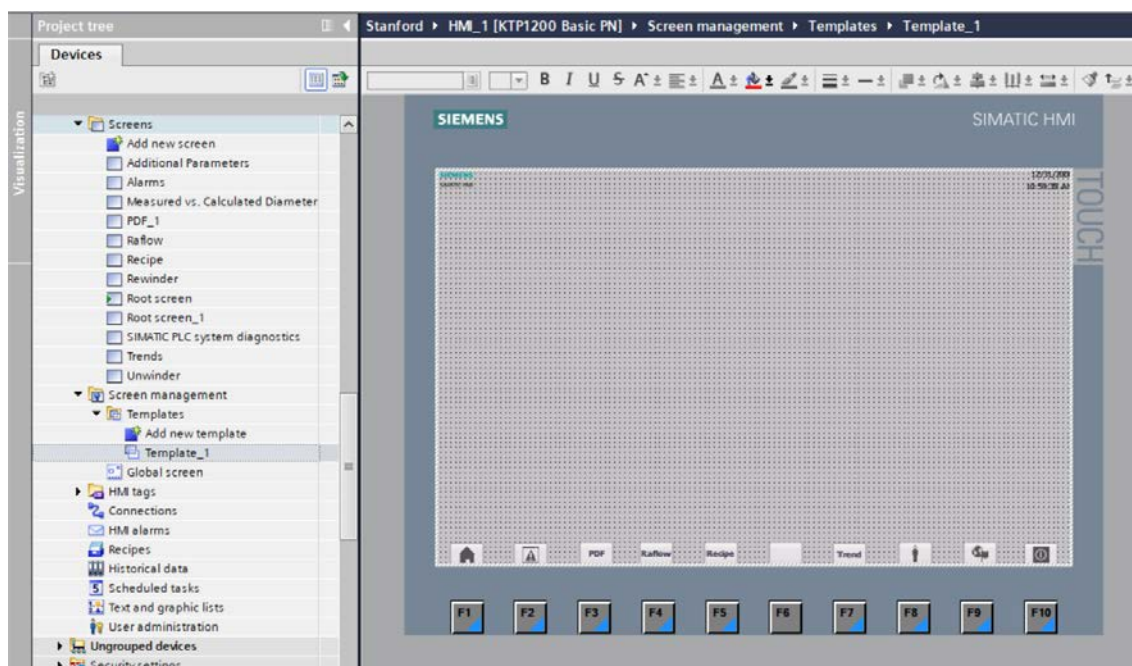
Taulukko koostuu siis tässä tapauksessa kuudesta sanasta. Jokainen sana voidaan taajuusmuuttajan parametreilla linkittää tiettyyn arvoon. Kuten aiemmin mainittiin, taajuusmuuttajien ohjaus tehtiin ohjaussanojen avulla. Ohjaussana vietiin PPO Out taulukon ensimmäisessä sanassa (PZD 1). Sanan rakenne on kuvattu kuvassa 78. Sana on ABB – Pro standardiohjaus sanan mukainen ja lisäksi sen vapaisiin bitteihin on taajuusmuuttajalla määritelty joitakin toimintoja. Ohjausbitit kasataan sanaksi ja lähetetään taajuusmuuttajalle.

```
▼ Network 1: 16 Bits to word (ABB Control word format)
Comment
1 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X0 := #Off1;
2 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X1 := #Off2;
3 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X2 := #Off3;
4 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X3 := #Run;
5 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X4 := # "Ramp Out Zero";
6 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X5 := # "Ramp Hold";
7 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X6 := # "Ramp in Zero";
8 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X7 := #Reset;
9
10 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X8 := # "Jog 1";
11 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X9 := # "Jog 2";
12 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X10 := # "Remote Cmd";
13 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X11 := # "Ext ctrl loc";
14 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X12 := # "Thread forward";
15 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X13 := # "Motor Direction";
16 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X14 := # "Disable Tension Control";
17 # "ABB-Control Word ( Winder )" .%X15 := # "Enable stall mode";
```

KUVA 78. Ohjausbittien kasaaminen ohjaussanaksi

### 5.3 Käyttöliittymä

Käyttöliittymän (HMI) ohjelmointi aloitettiin tekemällä pohjanäyttö tai ”Template”. Pohjanäytöllä voidaan määrittää toiminnot, ja näkymät, jotka toimivat pohjana kaikille muille näytöille. Pohjanäyttöön ohjelmoitiin funktionäppäimiin (F1 – F10) eri näyttöjen valinnat, sisäänkirjautuminen, kielenvalinta ja paneelin ohjelman sammutus (alkuvalikkoon palaaminen). Pohjanäyttöjä voidaan luoda monta ja eri näyttöihin voidaan linkittää eri pohjanäyttöjä. Pohjanäyttö näkymä on kuvattu kuvassa 79.



KUVA 79. Template näyttö

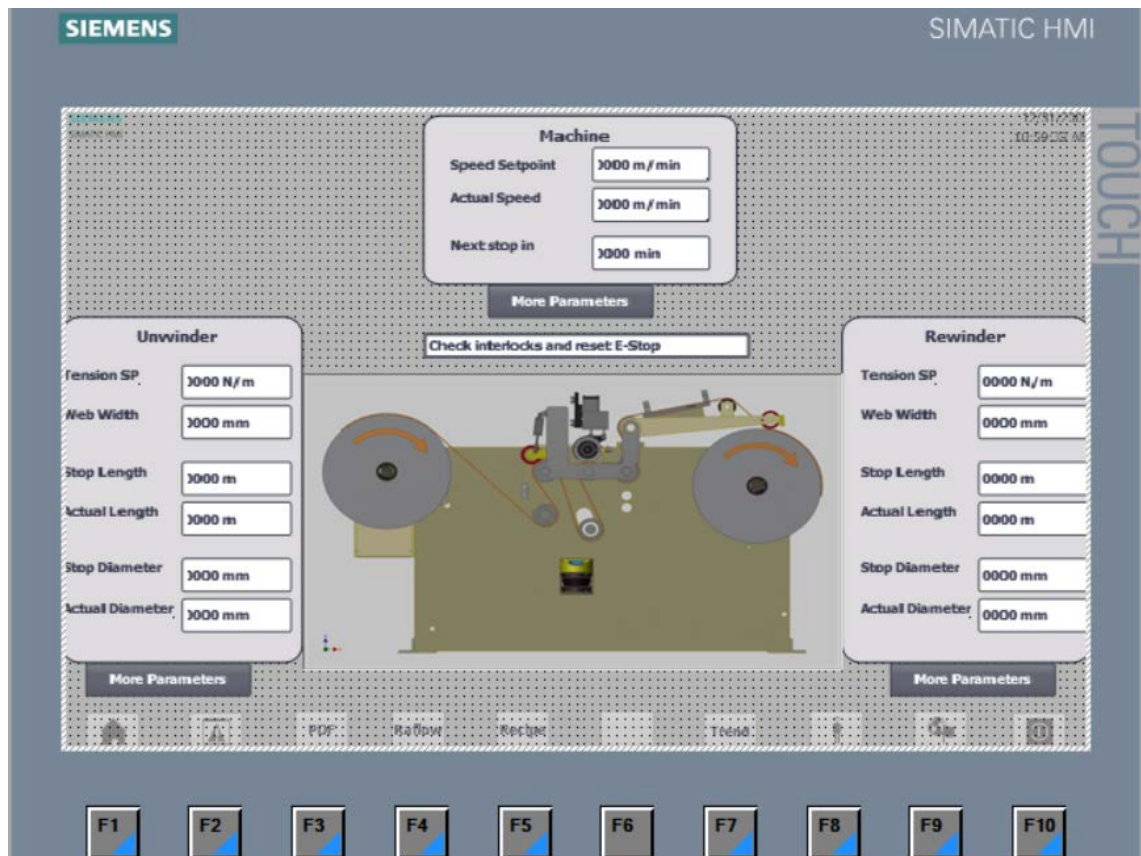
HMI – ohjelmointi perustuu tageihin, kuten PLC ohjelmointikin. HMI – tagit määritellään samannimisessä valikossa ja ne linkitetään käytettyihin PLC – tageihin, jos tietoa halutaan viedä tai tuoda logiikalta. Esimerkki tageista kuvassa 80.

HMI tags					
	Name	Data type	Connection	PLC name	PLC tag
	Contact pressure Tapering %	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"Contact roll - tension tapering_DB"."Tapering %"
	Contact pressure Tapering curv...	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"Contact roll - tension tapering_DB"."Curve Form"
	Contact pressure Tapering start...	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"Contact roll - tension tapering_DB"."Start Diameter"

KUVA 80. Esimerkki HMI - Tageista

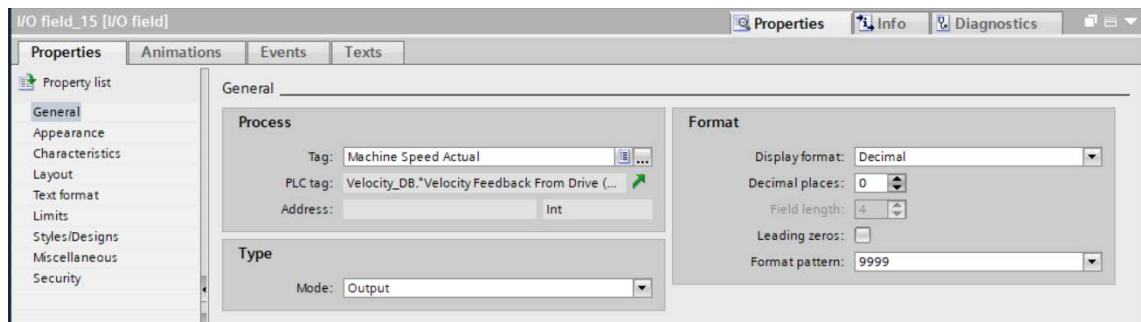
Koneen päänäyttö on kuvattuna alla olevassa kuvassa 81. Päänäytöllä näytetään koneen tila, käynnissä olevat hälytykset, radanveto ja tärkeimmät muokattavat parametrit. Parametrit on jaoteltu kolmen otsikon alle : Kiinnirullain , Kone ja Aukirullain. Jokaisen näiden parametrikentän alla sijaitsevasta painikkeesta on mahdollista avata kyseisen koneen osan tarkemmat parametrit.

Funktio näppäimillä saa lisäksi useita erilaisia näytöitä näkyviin. Näitä ovat muun muassa erilaiset yrityksen sisäiset resepti ja kommunikaatio näkymät ja hälytyshistoria näkymä. Lisäksi näppäimistä on mahdollista vaihtaa kieltä, tai sammuttaa sovellus, jolloin pääsee muokkaamaan paneelin asetuksia.



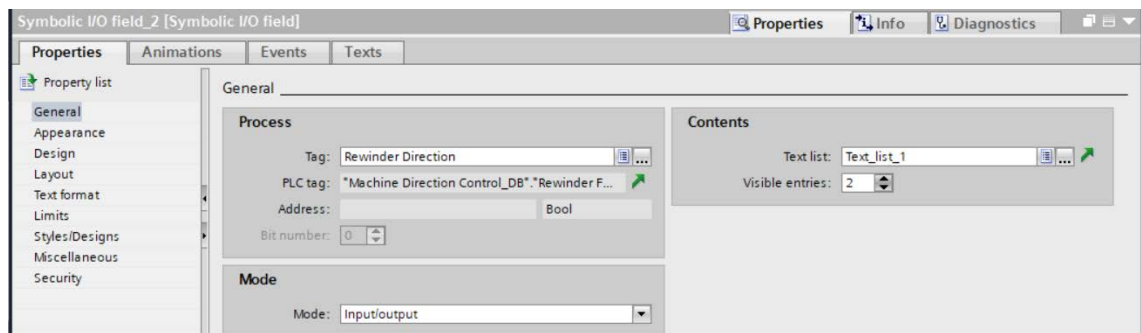
KUVA 81. Päänäyttö näkymä

Kaikki näytöllä näkyvät arvokentät on toteutettu I/O – field toiminnolla. Tuplaklikkaamalla I/O – kenttää aukeaa asetusvalikko, jossa kenttään voidaan linkittää tagi, määrittää sen ulkoasua ja toiminallisuuksia. Esimerkki kentästä näkyy kuvassa 82.



KUVA 82. I/O field – toiminnon asetus valikko

Muun muassa moottoreiden suunnanvaihdot toteutettiin ”Symbolic I/O field” – toiminnolla eli alasetusvalikoilla. Näihin valikkoihin linkitettiin tagin lisäksi tekstilista, jossa määriteltiin sanalliset arvot tagin eri arvoille. Esimerkki symbolic I/O fieldin asetusvalikosta näkyy kuvassa 83 ja tekstilistasta kuvassa 84. Moottoreiden suunnanvaihto löytyy molempien rullaimien tarkemmasta parametri ikkunasta. (Siemens, TIA help)



KUVA 83. Symbolic I/O field asetusvalikko

Text list entries				
	...	Default	Value ▲	Text
		<input type="radio"/>	0	Backward
		<input type="radio"/>	1	Forward

KUVA 84. Yksinkertainen tekstilista

Päänäytöllä näkyvä kuva koneesta kertoo radanviennin riippuen moottoreiden pyörimissuunta valinnoista. Tämä on toteutettu ”Graphic I/O field” – toiminnolla, joka mahdollistaa eri kuvien näyttämisen sanan tai bitin eri arvoilla. Toiminto toimii kuten yllä mainittu symbolic I/O field, mutta tekstilistan sijaan sille määritetään grafiikkalista. (Siemens, TIA help)

Tagiin web direction kirjoitetaan PLC ohjelmassa arvo 1,2,3 tai 4 riippuen moottoreiden pyörimissuunnista. Arvon perusteella tulee näkyviin kuvan 85 mukaisesti tietty radanveto.

Graphic list entries				
...	Default	Value ▲	Graphic na...	Graphic
	<input type="radio"/>	1 - 1	Stanford 1	
	<input type="radio"/>	2 - 2	Stanford 2	
	<input type="radio"/>	3 - 3	Stanford 3	
	<input type="radio"/>	4 - 4	Stanford 4	
		<Add new>		

KUVA 85. Graafinen lista

HMI – paneelille tuodaan lukuisia hälytyksiä. Hälytyksen tuodaan kirjoittamalla hälytysbitit sanoihin ja lukemalla sanaa HMI – alarms toiminnolla. Alla olevassa kuvassa 86 näkyy lista hälytyksistä. Listauksessa määritellään hälytyssana ja kyseisen hälytyksen ”Trigger bit” – eli käynnistysbitti. Hälytykset aiheuttavat pop – up ikkunan päänäytölle. Hälytyksiä voidaan jakaa eri ryhmiin esimerkiksi kuitattaviin hälytyksiin ja varoituksiin. (Siemens, TIA help)

Discrete alarms										
ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigge...	Trigger address	HMI acknowl...	HMI a...	HMI acknowl...	
1	OP1 E-Stop	OP1 Emergency Stop pressed	Errors	Errors / Ala...	0	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
2	OP2 E-Stop 1	OP2 Emergency Stop pressed	Errors	Errors / Alarm...	1	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
3	OP3 E-Stop	OP3 Emergency Stop pressed	Errors	Errors / Alarm...	2	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
4	OP4 E-Stop	OP4 emergency Stop pressed	Errors	Errors / Alarm...	3	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
5	Safety Scanner	Safety Scanner not Ok	Errors	Errors / Alarm...	4	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
6	Safety Reset	Safety Reset Required	Errors	Errors / Alarm...	5	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
7	Unwinder	Unwinder Interlocks not Ok	Errors	Errors / Alarm...	6	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
8	Main Drive	Main Drive interlocks not Ok	Errors	Errors / Alarm...	7	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
9	Splice Table	Splice Table interlocks not Ok	Errors	Errors / Alarm...	8	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
10	Rewinder	Rewinder interlocks not Ok	Errors	Errors / Alarm...	9	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
11	Trim	Trim chopper interlocks not Ok	Errors	Errors / Alarm...	10	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
12	Air	Air Supply not Ok	Errors	Errors / Alarm...	11	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		
13	Bypass	Interlocks Bypass activated	Warnings	Errors / Alarm...	12	*HMI Alarms ...	<No tag>	0		

KUVA 86. Hälytyslista

## 6 POHDINTA

Työn kirjoituksen lopetusvaiheessa sähkösuunnittelu, mekaniikkasuunnittelu ja sovellussuunnittelu ovat valmiita ja hankinnat toteutusta varten ovat tehtynä. Valitettavasti aikataulusta johtuen opinnäytetyöhön ei ollut mahdollista sovittaa asennusta, käyttöönottoa eikä jatkotoimenpiteitä.

Uskon päivityksen parantavan huomattavasti koneen ajettavuutta ja tehokkuutta. Koneen turvallisuus paranee varmasti rakenteellisista muutoksista johtuen. Tässä vaiheessa ei ole varmuutta saadaanko kone toimimaan täysin halutulla tavalla käyttäen ABB:n taajuusmuuttajien sisäistä laskentaa. Tähän tullaan varautumaan rakentamalla logiikkaohjelmaan mahdollisuus käyttää omaa laskentaa koneen ohjaamiseen.

Käyttöönoton jälkeen koneella on tarkoitus testata useita erilaisia ajotapoja ja komponenttien tarpeellisuuksia. Näillä pyritään jättämään hinta / hyöty suhteeltaan huonoimmat komponentit pois ja näin saavutetaan päivitykselle paras mahdollinen hinta / laatu suhde.

Työ on ollut äärimmäisen haastava ja opettavainen usealla osa-alueella. Erityisesti arvokasta kokemusta on kertynyt sähkösuunnittelusta, automaatio suunnittelusta ja projektin hallinnasta. Ymmärrys rullaussovelluksista on myös työn aikana kehittynyt huomattavasti aiempaan verrattaessa.

Lopuksi haluaisin kiittää UPM Raflatac oy:n Tampereen tehtaan henkilökuntaa tuesta. Erityiskiitos ODF – tiimille työn mahdollistamisesta ja tukemisesta.

## LÄHTEET

Säätötekniikan perusteet, Kurssimateriaali, OAMK (Julkinen). Luettu 29.12.2018

Askelvaste. Verkkosivu. Luettu 29.12.2018

[http://www.processcontrolstuff.net/fopdt\\_model-m/](http://www.processcontrolstuff.net/fopdt_model-m/)

PID – Viritys. Verkkosivu. Luettu 29.12.2018

[https://wiki.aalto.fi/download/attachments/62723060/Ryhm%C3%A4410plus\\_k7.pdf?version=1&modification-Date=1332152441098](https://wiki.aalto.fi/download/attachments/62723060/Ryhm%C3%A4410plus_k7.pdf?version=1&modification-Date=1332152441098)

Yli-Rämi, Heikki. Sähkömoottorikäytöt, Kurssimateriaali, TAMK. Kevät 2018.

Koskinen, Mikko. Ultraviolettilakan käyttö raitaliimauksessa. Julkaistu 2007.

Kantanen, Juho. Tarralaminaattileikkurin radan nopeus- ja kireyshallinnan parantaminen. Julkaistu 2002.

Julkaisematon kirjoittaja. Diplomityö. Paperiradan kireyden hallinta monimoottorikäytössä. Luettu 11.1.2019.

ABB TTT – käsikirja luku 18, Sähkömoottorikäytöt. Luettu 10.12.2018

ABB TTT – käsikirja luku 19, Sähköjohtojen mitoittaminen. Luettu 15.1.2019

ABB Sähköinen jarrutus, Tekninen opas. Luettu 23.11.2018

ABB, Web tension systems pressductor PillowBlock load cells mini series. Ohjekirja. Luettu 14.10.2018

ABB, FPNO21 Käyttöohje. Luettu 6.1.2019

ABB, FEN31 Käyttöohje. Luettu 7.1.2019

ABB, Laiteopas ACS 880-01 taajuusmuuttajat. Ohjekirja. Luettu 17.10.2018

ABB, ACS 880 Winder Control Program (option +N5000) Firmware manual. Ohjekirja. Luettu 10.2.2019

ABB, ACS880-01 drives and ACS880-04 drive modules – Common DC systems, Application guide. Ohjekirja. Luettu 11.11.2018.

ABB, DTC – A motor control technique for all seasons. White paper. Luettu 1.2.2019

Siemens – Distributed Controller ET200SP CPUs. Esite. Luettu 1.10.2018

<https://c4b.gss.siemens.com/resources/images/articles/dffa-b10009-01-7600.pdf>

Siemens – Laite kohtaiset manuaalit (ladatavissa tuotekoodilla). Ohjekirja.

<https://support.industry.siemens.com/my/ww/en/CAxOnline>

Siemens – TIA Portal V15.0 Help toiminto.

Siemens –SIMOTION Converting library manual V2.27. Ohjekirja. Luettu 2.2.2019

SMC – EX600 EtherNet/IP compatible SI unit. Ohjekirja. Luettu 18.12.2018

SICK – Opto-electronic protective devices. Ohjekirja. Luettu 15.9.2018

Schneider products. Verkkosivu. Luettu 10.10.2018

<https://www.schneider-electric.com/en/product/XACA48141/pendant-control-station-xac-a---4-pushbuttons-%2B-1-emergency-stop/>

Pepperl & Fuchs UB2000-F42S-I-V15 – Datalehti. Luettu 10.10.2018

[https://www.pepperl-fuchs.com/finland/fi/classid\\_186.htm?view=productdetails&prodid=24965](https://www.pepperl-fuchs.com/finland/fi/classid_186.htm?view=productdetails&prodid=24965)

Posital Fraba – Inclinometers. Verkkosivu. Luettu 10.10.2018

<https://www.posital.com/en/products/inclinometers/tiltix-product-finder/ADS-090-1-AV20-VE2-CW/125527801/detail.php>

Posital Fraba – Incremental encoder interface. Verkkosivu. Luettu 1.2.2019

<https://www.posital.com/en/products/communication-interface/incremental/incremental-encoders.php>

Nokeval kenttänäytöt. Verkkosivu. Luettu 14.10.2018

[https://www.nokeval.com/tuotteet/naytot/pienet\\_kenttanaytot/2800\\_2000\\_sarja/2800\\_2061/](https://www.nokeval.com/tuotteet/naytot/pienet_kenttanaytot/2800_2000_sarja/2800_2061/)

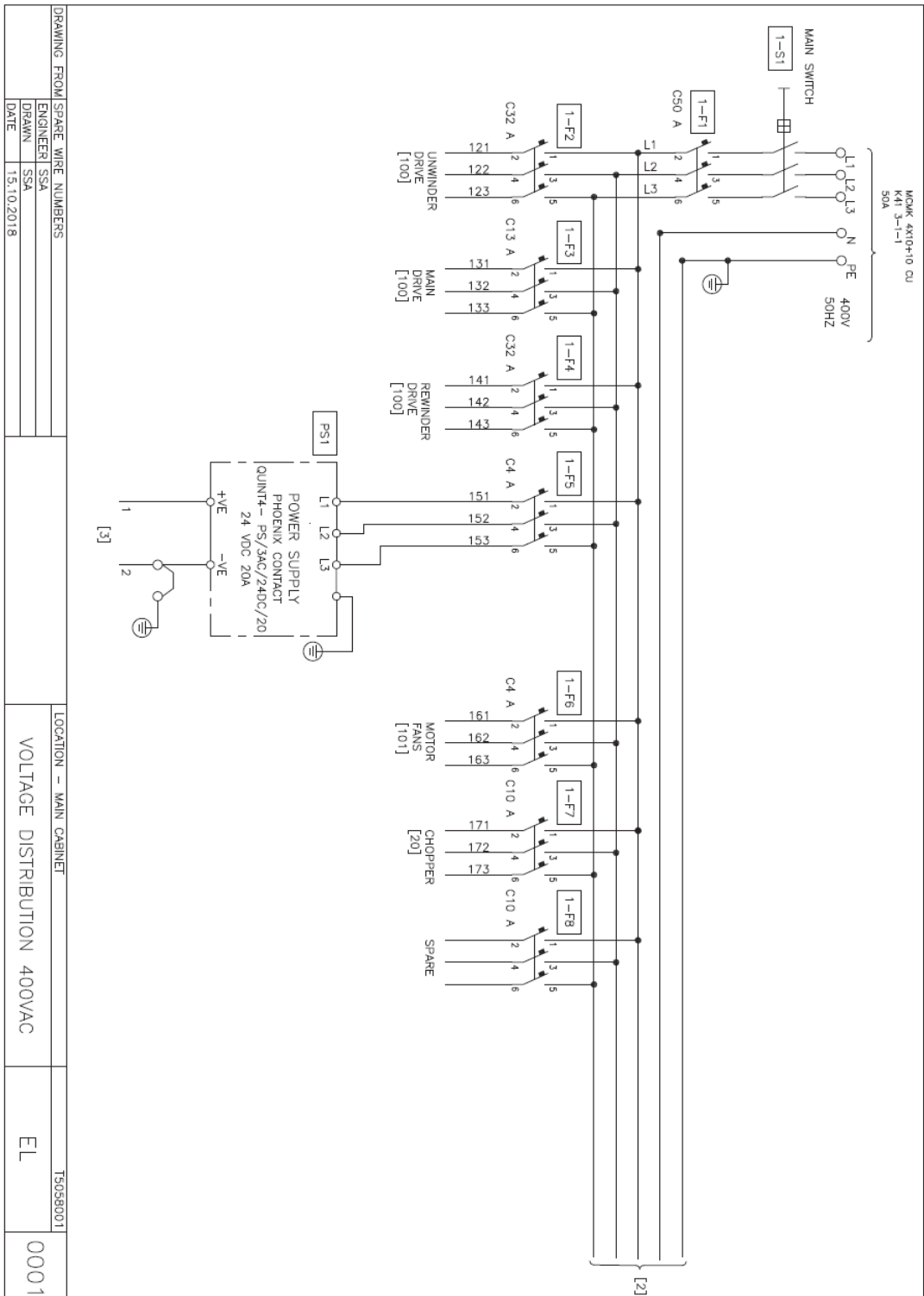
Lundberg granulator and cutter. Verkkosivu. Luettu 4.2.2019

<https://lundbergtech.com/en/home-2/products-en/granulator-cutter-en.html>

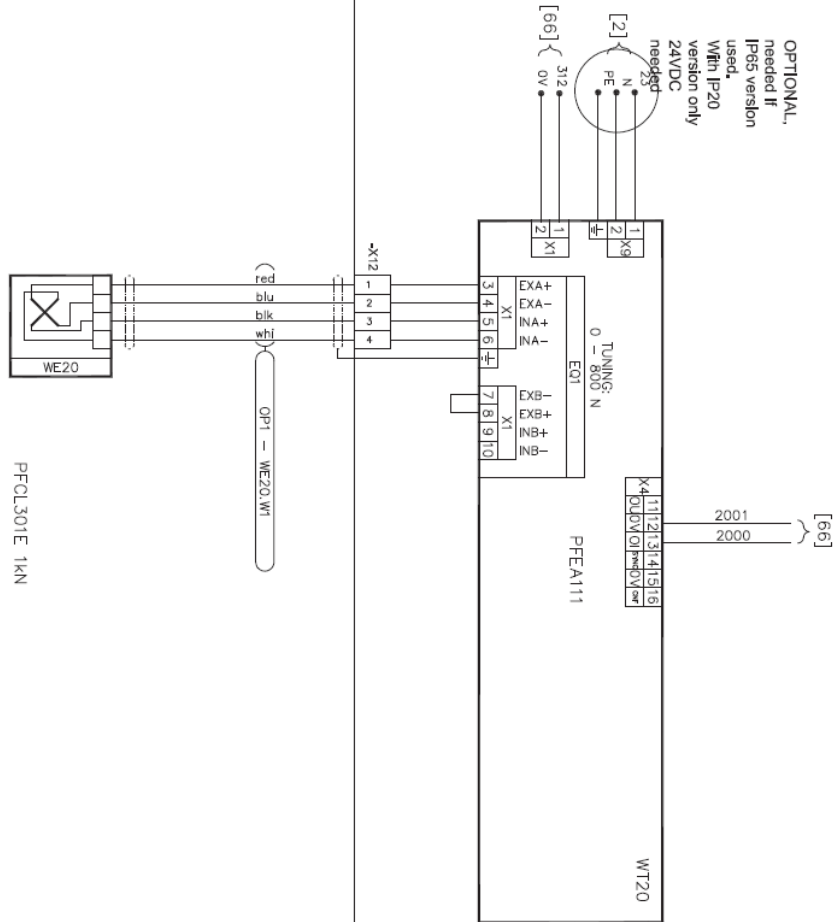
**LITTEET**

Liite 1. Päivitetyn koneen sähkökuva esimerkkejä

Jännitteenjakelu (400VAC)

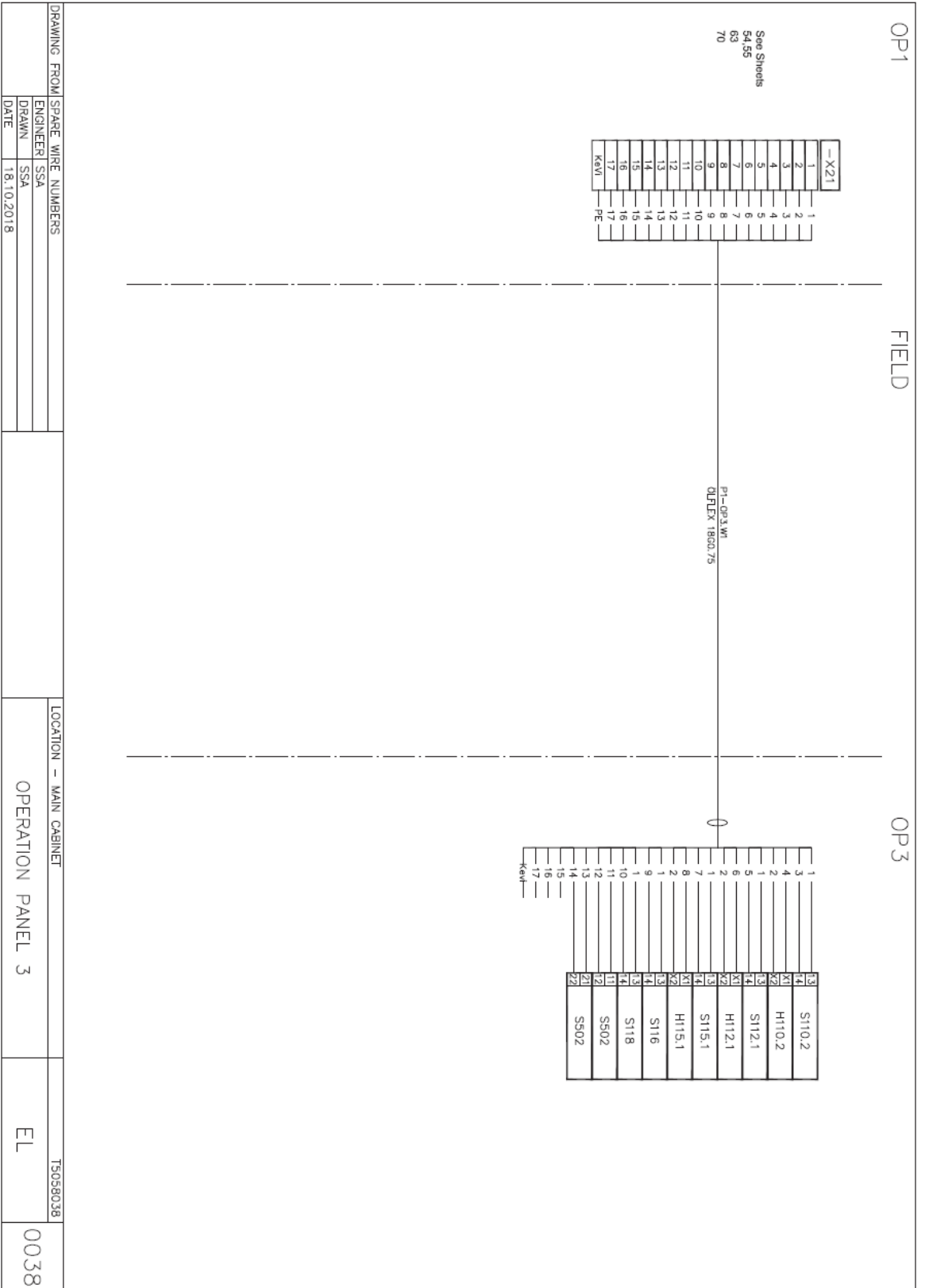


OP1

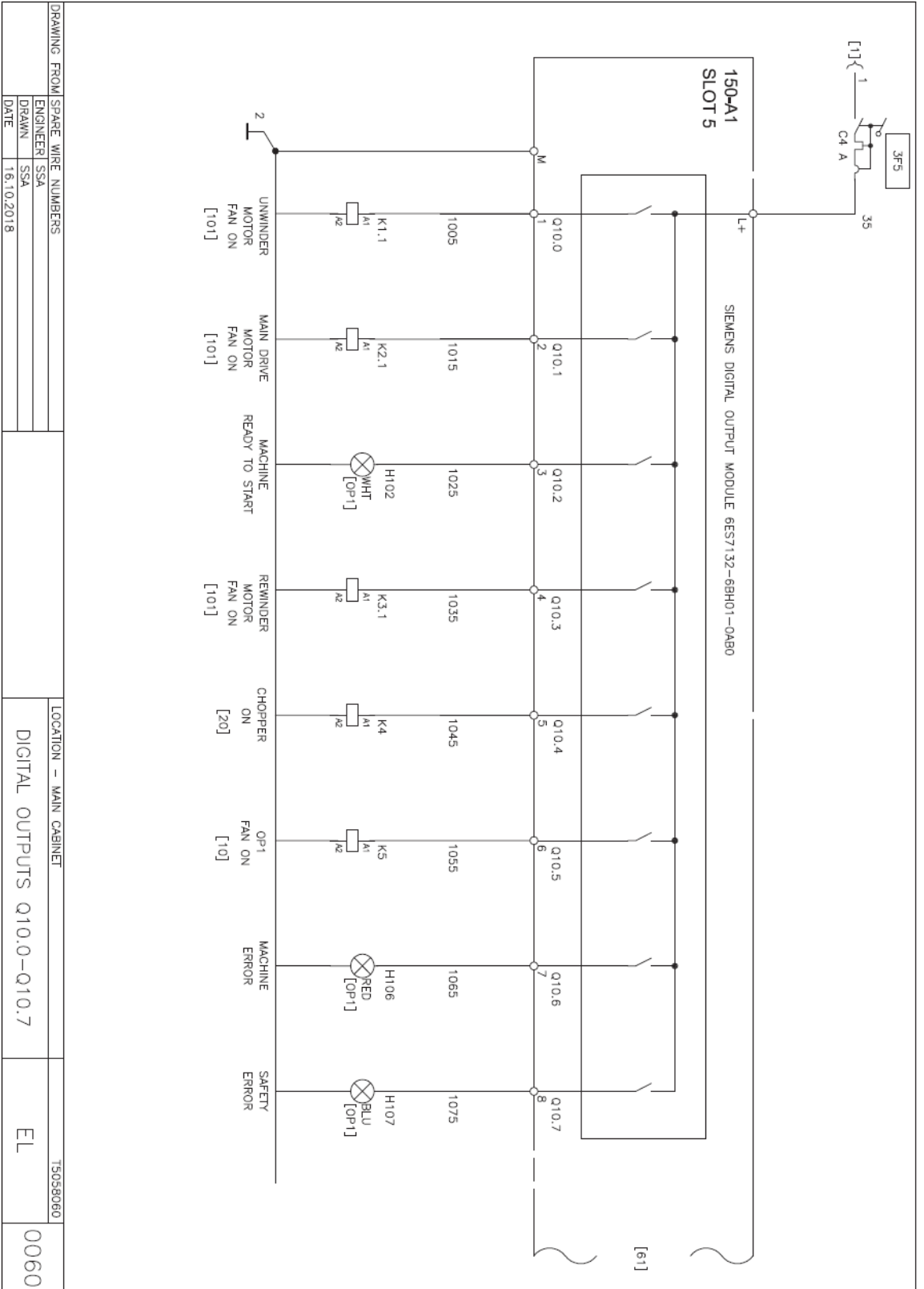


DRAWING FROM SPARE WIRE NUMBERS		LOCATION - MAIN CABINET	
ENGINEER	SSA	TENSION MEASUREMENT	
DRAWN	SSA		
DATE	18.10.2018		
		TS058032	0032

Opointipaneelien 1 ja 3 välinen kaapelointi



Digitaalilähtökortti



DRAWING FROM SPARE WIRE NUMBERS

ENGINEER	SSA
DRAWN	SSA
DATE	16.10.2018

LOCATION - MAIN CABINET

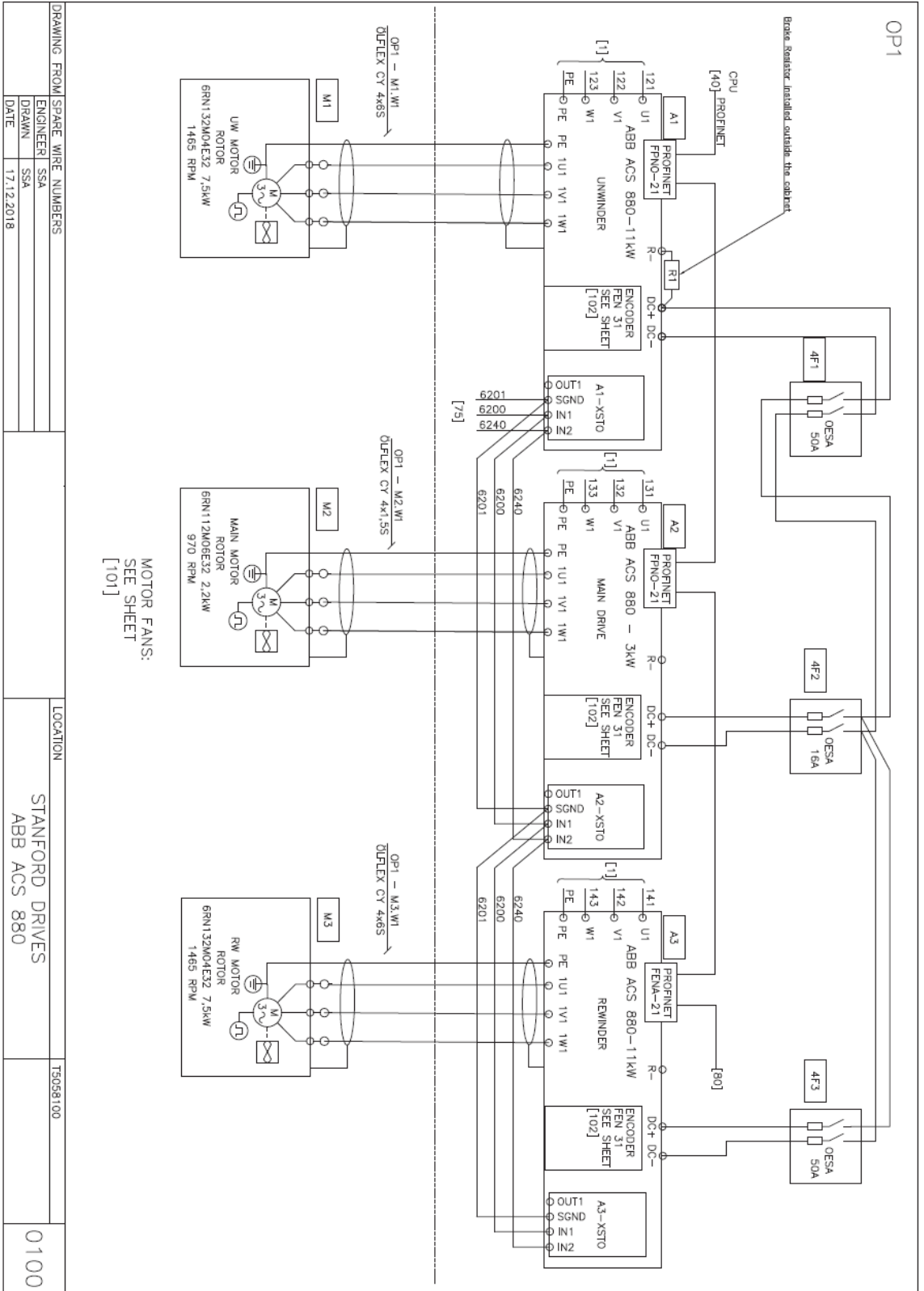
DIGITAL OUTPUTS Q10.0-Q10.7

T5058060

EL

0060

Taajuusmuuttajien johdotus



## Liite 2. Nokeval 2800-2061 Ohjelmointiopas

## Ohjelmointivalikko

Päämenu	Valintamenu	Nimitys	Kuvaus
▲ ▼ - liikutaan ylös/alas valikossa, ► - siirytään asetelutilaan/seuraavalle tasolle, ★ - hyväksyntä/paluu takaisin			
Pulse		Pulssikertoimen arvo	Mitä lukuarvoa 1 pulssi vastaa näytössä. Lukuarvo voi olla myös desimaaliluku
Divide		Pulssijakajan arvo	Käytetään erikoistapauksissa jolloin kertoimen arvolla ei voida asetella riittävästi desimaaleja, ks esimerkki *.
Start		Laskennan aloitusarvo	Mistä arvosta laskuri aloittaa laskennan
Limit1		Hälytystaso 1	Laskurin arvo, jolloin hälytysrele 1 vetää
Cont 1	No	Sulkeutuva kosketin, hälytys 1	Hälytysreleen 1 toimitus suunnan valinta.
	Nc	Avautuva kosketin, hälytys 1	
Adjust	Start	Start arvo pika-asettelussa	Laskennan aloitusarvoa (Start) tai laskurin hälytystasoa (Limit1) voidaan muuttaa suoraan näyttötilassa menemättä ohjelmointitilaan.
	Limit1	Limit1 arvo pika-asettelussa	
Loop	On	Loop toiminto käytössä	Loop toiminnolla (On) laskuri nollaantuu ja samalla aloittaa automaattisesti uuden laskennan, kun hälytystaso (Limit) on saavutettu.
	Off	Loop toiminto poistettu	
Limit2		Hälytystaso 2	Laskurin arvo, jolloin hälytysrele 2 vetää
Follow	On	Hälytystaso 2 suhteellinen hälytystaso 1:een.	Hälytys 1:n arvo summataan hälytys 2:n arvoon jonka kuluttua hälytys vetää.
	Off	Hälytystaso 2 absoluuttinen	Hälytystaso toimii kuten hälytystaso 1.
Cont 2	No	Sulkeutuva kosketin, hälytys 2	Hälytysreleen toimitus suunnan valinta onko avautuneena vai sulkeutuneena normaalitilassa.
	Nc	Avautuva kosketin, hälytys 2	
Divout		Jakajan arvo	Määrittää monenko tulopulssin välein hälytys vetää.
REL2	Limit 2	Rele 2 = hälytysrele, Rele 3 = jakajälähtö	Rele 2 ja Rele 3 toimintojen valinta, tämän toiminnon avulla voidaan vaihtaa Rele 2 ja Rele 3 toiminnot keskenään.
	Divout	Rele 2 = jakajälähtö, Rele 3 = hälytys 3	
Res bl	On	Ulkoisen nollaus estetty	Ulkoisen nollauskoskettimen lukitus laskennan ajaksi. Nollaus voidaan suorittaa vasta kunnes hälytysraja on saavutettu. Ei lukitse nollausta etupaneelist.
	Off	Ulkoisen nollaus sallittu	
Check	On	Start / Limit arvon tarkastus	Nollattaessa laskuria, ensimmäinen Reset painallus tuo näyttöön Adjust tilassa valitun arvon (Start tai Limit). Toisella reset painalluksella laskuri nollaantuu.
	Off	Tarkastus ei käytössä	
PO res	On		Releet hälytystilassa apujännitteen kytkemisen jälkeen (kunnes reset)
	Off		Releiden normaalitoiminta apujännitteen kytkemisen jälkeen.
Direct	Up	Laskenta ylöspäin	Laskurin laskentasuunnan valinta. Ylös- tai alaspäin.
	Down	Laskenta alaspäin	
E Swit	Mode	OFF	Poistaa ulkoisen kytkimen käytön.
		revers	Laskentasuunnan vaihto ulkoisella kytkimellä
		Step	Ulkoisen kytkimen painallus askeltaa edelliseen lukemaan.
	Slot	Slot B	I/O korttipaikassa B, ulkoinen kytkin tulokanava 4
		Slot C	I/O korttipaikassa C, ulkoinen kytkin tulokanava 4
	Contac	NC	Ulkoisen kytkimen toimitus suunnan valinta, normaalisti kiinni.
NO		Ulkoisen kytkimen toimitus suunnan valinta, normaalisti auki.	
Dec		Desimaalien määrä	Näytössä näytettävien desimaalien määrä
Int	0...15	Näytön kirkkaus	Näytön kirkkauden säätö: 0...15
Sensor	NPN (Kosketin)	Anturi tyyppin valinta	Pulssianturi tyyppin valinta. HUOM! mikäli anturina käytetään sulkeutuvaa koskettinta, valitaan anturi tyyppi NPN.
	PNP		
	Namur		
	Pickup		
Baud r	300...19200	Baudinopeus	Baudinopeuden valinta: 300...19200
Adress	Adre 0...127	Sarjaviestiosoite	Sarjaviestiosoitteen valinta: 0...127
RS-485	Off	RS485 ei käytössä	RS485 sarjaviestikortin käyttöönoton valinta. HUOM! mikäli käytetään sarjaviestä RS232 ei valintaa tarvitse tehdä.
	Slot B	RS485 käytössä slot B.	
Save	►	Tallennetaan tehdyt muutokset	Save ja Undo tilaan päästään Päämenusta ★-painikkeella. Valinta hyväksytään ►-painikkeella
Undo	►	Peruutetaan tehdyt muutokset	

\* Divide: Näyttölukema/pulssi voidaan skaalata kertoimella ja jakajalla, jotka mahdollistavat yli kuuden numeron asetelun, esim. 0.0000673. =0,673/10.000.

## Liite 3. P&amp;F UB 2000 Raja-arvojen ohje

**Functional Description**

The sensor may be completely parameterised via two keys on the side panel of the housing. As a special feature provided by this sensor, the ultrasound beam width may be adapted to the environmental conditions at the place of operation of the sensor.

**Specifying the evaluation limits:**

The evaluation limits determine the characteristic line and the working range of the analog output.

Specifying the A1 evaluation limit by pressing the A1 key	
Holding down the A1 key > 2 seconds	The sensor switches to learn mode and the user may specify the A1 evaluation limit
Position the target object at the desired distance	The yellow LED of the sensor flashes fast to indicate that the target object is recognised. The red LED flashes if the object is not recognised.
Briefly pressing the A1 key	The sensor terminates the specification of the A1 evaluation limit and saves it as a non-volatile value. The specified value is invalid if the object is uncertain (i.e. the red LED lights up at irregular intervals). The learn mode is exited.

**The A2 evaluation limit is specified via the A2 key, analogous to the description above.**

Alternatively, the evaluation limits may also be specified electrically via the learn input. To specify the A1 evaluation limit, the learn input must be connected to

-U<sub>G</sub>; to specify the A2 evaluation limit, it must be connected to +U<sub>B</sub>. Specified values are saved upon the disconnection from the learn input. Evaluation limits may only be specified within the first 5 minutes after Power on. To modify the evaluation limits later, the user may specify the desired values only after a new Power On.

**Proceed as follows to parameterise the output function and the ultrasound beam width:**

Press the A1 key during Power on and hold down the key for another second to ensure that the sensor starts the two-step parameterisation of the operating modes.

**Step 1, parameterisation of the output function**

The output function parameterised last is displayed. All output functions available may be selected via consecutive, brief strokes of the A2 key. These strokes are visualised via short flashes of the green LED.

Operating mode	Flash sequence of the green LED	A2 key
Rising edge		
Falling edge		
Zero point straight line		

The "Zero point straight line" setting freely specifies the A1 evaluation limit to 0 (see specification of the evaluation limits). The A2 evaluation limit determines the steepness of the output characteristic line.

Hold down the A1 key for 2 seconds to save the selected output mode, complete the parameterisation and ensure that the sensor returns to normal mode. If you briefly press the A1 key, Step 2 is entered (parameterisation of the ultrasound beam width).

**Step 2, parameterisation of the ultrasound beam width**

Via Step 2, the ultrasound beam width may be adapted to the requirements of the corresponding application.

The beam width parameterised last is displayed first. Available beam width settings may be selected via consecutive, brief strokes of the A2 key. These strokes are visualised via the flash sequence of the red LED.

Beam width	Flash sequence of the red LED	A2 key
Small beam		
Medium beam		
Large beam		

Hold down the A1 key for 2 seconds to save the selected beam shape, terminate the parameterisation and ensure that the sensor returns to normal mode. Briefly press the A1 key to return to Step 1 (parameterisation of the output function).

If the parameterisation mode is not terminated within 5 minutes (hold down the A1 key for 2 seconds), the sensor aborts this mode without modifying the settings.

**Synchronisation**

The sensor provides a synchronisation port to suppress mutual influencing. If this port has not been connected, the sensor works at an internally generated cycle rate. Several sensors may be synchronised via the following options.

**External synchronisation:**

The sensor may be synchronised via the external application of a square wave voltage. A synchronisation pulse on the synchronisation input initiates a measuring cycle. The pulse width must be greater than 100 µs. The measuring cycle is started with the falling edge. A low level > 1 s or an open synchronisation input initiate the transition to normal sensor mode. A high level on the synchronisation input deactivates the sensor.

**Two modes are possible:**

- Several sensors are controlled via the same synchronisation signal. The sensors work in common mode.
- The synchronisation pulses are forwarded at cyclic intervals to respectively one single sensor. The sensors work in multiplex mode.

**Self-synchronisation:**

The synchronisation ports of up to 5 sensors suitable for self-synchronisation are connected to each other. These sensors work in multiplex mode after Power on. The On delay increases depending on the number of sensors to be synchronised. While the learn mode is active, no synchronisation is possible (and vice-versa). To specify the switching points, the sensors must be operated in non-synchronised mode.

**Note:**

If the synchronisation option is not used, the synchronisation input must be connected to ground (0V) or the sensor must be operated with a (4-pole) V1 connecting cable.

Liite 4. Kaapelin mitoitus ja suojalaitteiden valinta taulukkoarvoja

Johtimen Poikkipinta mm <sup>2</sup>	Kaapelien suurin sallittu jatkuva kuormitusvirta / A				
	Asennustavat				
	A ja A2	B ja B2	C	D	E
<b>alumiini</b>					
16	45	56	62	78	64
25	60	73	77	100	82
35	74	91	96	121	101
50	89	111	116	142	124
70	113	140	148	176	159
95	136	170	180	208	192
120	157	197	208	237	224
150	180		240	269	259
185	205		274	304	296
240	240		323	349	349
300	276		372	395	403
<b>kupari</b>					
1,5	13,5	16	18,5	26	19,5
2,5	19	22	25	36	26
6	32	38	43	57	45
10	44	53	60	78	63
16	59	72	80	101	84
25	77	94	101	130	107
35	94	117	126	156	133
50	114	142	152	185	162
70	144	181	195	228	207
95	173	219	236	271	252
120	199	253	274	308	292
150	228		311	349	338
185	262		361	389	385
240	303		427	450	455
300	347		491	510	526

**Asennustavat A ja A2****A**

- Eristetyt johtimet eristetyssä seinässä olevassa asennusputkessa.
- Monijohtiminen kaapeli eristetyssä seinässä.
- Eristetyt johtimet asennusputkessa asennuslistassa.

**A2**

- Monijohtiminen kaapeli eristetyssä seinässä olevassa asennusputkessa.

**Asennustavat B ja B2****B**

- Eristetyt johtimet puisen seinän pinnalla olevassa asennusputkessa.
- Eristetyt johtimet puisen seinän pinnalla olevassa kanavassa.
- Eristetyt johtimet tuulettuvassa lattiakanavassa olevassa asennusputkessa.

**B2**

- Monijohdinkaapeli puisen seinän pinnalla olevassa asennusputkessa.

**Asennustapa C**

- Seinän pinnalla oleva monijohdinkaapeli.
- Seinän pinnalla olevat yksijohdinkaapelit.
- Monijohdinkaapeli kivirakenteessa.
- Yksi- tai monijohdinkaapelit avoimessa tai tuulettuvassa kourussa.
- Monijohdinkaapelit kanavassa tai asennusputkessa avoimessa ilmatilassa tai tiiliseinän kanssa kosketuksissa (kerro arvot kertoimella 0.8 (huomautus)).
- Lattian tai katon pinnalla oleva kaapeli.

**Asennustapa D**

- Monijohtimiset kaapelit maassa olevissa kanavissa.
- Yksijohdinkaapelit maassa olevissa kanavissa.
- Yksi- ja monijohdinkaapelit suoraan maassa.

**Asennustavat E, F ja G****E**

- Monijohdinkaapeli ilma-asennuksessa.
- Vapaa välimatka seinästä vähintään 0,3 kertaa kaapelin halkaisija.

**F**

- Yksijohtimiset kaapelit koskettavat toisiaan ilma-asennuksessa.
- Vapaa välimatka seinästä vähintään kaapelin halkaisija.

**G**

- Yksijohtimiset kaapelit ilma-asennuksessa.
- Vapaa välimatka kaapeleiden välillä vähintään kaapelin halkaisija.

**Ilman lämpötilasta aiheutuva korjauskerroin**

Johtimen- lämpötila °C	Ilman lämpötila °C							
	10	15	20	25	30	35	40	45
	Korjauskerroin							
90	1,12	1,08	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80
80	1,14	1,09	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77
70	1,18	1,12	1,06	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71
65	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,85	0,77	0,68
60	1,22	1,16	1,07	1,00	0,92	0,85	0,75	0,65

Taulukko 1 Johdonsuojien vaatimat oikosulkuvirrat vikasuojaukseen ja oikosulkusuojaukseen.

Pienimmät oikosulkuvirrat, jolla erilaiset suojalaitteet toimivat 0,2, 0,4 tai 5,0 sekunnissa					
Suojalaitteen nimellisvirta A	Pienin sallittu yksivaiheinen oikosulkuvirta A				
	Johdonsuojakatkaisijat				
	B-tyyppi 0,2, 0,4 s ja 5,0 s	C-tyyppi 0,2 ja 0,4 s	C-tyyppi 5,0 s	D-tyyppi 0,2 ja 0,4 s	D-tyyppi 5,0 s
	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo/ mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo
6	30 / 38	60 / 75	42 / 55	120 / 150	42 / 55
10	50 / 65	100 / 125	70 / 90	200 / 250	70 / 90
16	80 / 100	160 / 200	112 / 140	320 / 400	112 / 140
20	100 / 125	200 / 250	140 / 180	400 / 500	140 / 180
25	125 / 160	250 / 320	175 / 220	500 / 630	175 / 220
32	160 / 200	320 / 400	225 / 280	640 / 800	225 / 280
40	200 / 250	400 / 500	280 / 350	800 / 1000	280 / 350
50	250 / 320	500 / 630	350 / 440	1000 / 1250	350 / 440
63	315 / 400	630 / 790	440 / 550	1260 / 1600	440 / 550
80	400 / 500	800 / 1000	560 / 700	1600 / 2000	560 / 700
125	625 / 780	1250 / 1570	875 / 1100	2500 / 3130	875 / 1100

Taulukko 2 Vaaditut oikosulkuvirrat käytettäessä gG tai gL -sulakkeita.

Sulakkeiden nimellisvirta A	Laukaisuaika	
	0,4 s	5,0 s
	Laskettu arvo / mitattu arvo	Laskettu arvo / mitattu arvo
2	16 / 20	9 / 12
4	32 / 40	18 / 23
6	46,5 / 58	28 / 35
10	82 / 103	46,5 / 58
16	110 / 138	65 / 81
20	145 / 180	85 / 105
25	180 / 225	110 / 138
32	270 / 340	165 / 210
35	290 / 365	175 / 220
40	315 / 395	190 / 240
50	470 / 590	250 / 315
63	550 / 690	320 / 400
80	840 / 1050	425 / 530
100	1000 / 1250	580 / 725
125	1450 / 1800	715 / 895
160	1600 / 2000	950 / 1190
200	2100 / 2625	1250 / 1560
250	2800 / 3500	1650 / 2065
315	3700 / 4625	2200 / 2750
400	4800 / 6000	2840 / 3550
500	6400 / 8000	3800 / 4750
630	8500 / 10625	5100 / 6375

