



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Samu Petteri Ahola

# RULLAINSOVELLUKSEN SUUNNITTELU JA KÄYTTÖÖNOTTO

Tekniikka ja liikenne  
2009

## VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan ja liikenteen sähkötekniikan koulutusohjelma

### TIIVISTELMÄ

Tekijä	Samu Ahola
Opinnäytetyön nimi	Rullainsovelluksen suunnittelu ja käyttöönotto
Vuosi	2009
Kieli	suomi
Sivumäärä	32 + 1 liite
Ohjaaja	Juha Nieminen

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa rullaimen ohjaus käyttäen Siemensin S7-300 logiikkaa sekä Vaconin taajuusmuuttajia. Ohjaus on pyritty toteuttamaan mahdollisimman pitkälle logiikalla.

Työhön sisältyi logiikkaohjelma, logiikan ja taajuusmuuttajien konfigurointi, tietokoneelle tehty valvomosovellus sekä valmiiden ratkaisujen dokumentointi. Logiikkaohjelma sekä logiikan konfigurointi on tehty käyttäen SIMATIC STEP 7 ohjelmaa. Taajuusmuuttajien konfiguroinnissa on käytetty Vaconin NCDrive käyttöönotto- ja monitorointityökalua.

Tässä työssä on käyty läpi käytetty laitteisto ja työn vaiheet.

Työn tuloksena valmistuneen logiikkaohjelman ja valvomosovelluksen toimintaa on selvitetty käyttäen kuvia ja esimerkkejä. Logiikkaohjelma on esitetty myös lohkoakaavioina työn liitteessä

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tekniikan ja liikenteen sähkötökniiikan koulutusohjelma

## ABSTRACT

Author	Samu Ahola
Title	Design and Implementation of a Winder Application
Year	2009
Language	Finnish
Pages	32 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Juha Nieminen

---

The objective of this thesis was to design a control system for a winder using Siemens S-7 PLC and Vacon frequency converters. The control system was planned by using the PLC as much as possible.

The thesis included PLC programming, configuration of the PLC and frequency converters, human machine interface and documentation of the solutions. The PLC programming and the configuration of the PLC were done using SIMATIC STEP 7 engineering software and the human machine interface using Wonderware InTouch HMI software. The frequency converters were configured using Vacon NCDrive software. After the design, the application was implemented. A block diagram of the PLC program was also drawn up.

As a result of this thesis, the winder can now be controlled from the computer, instead of the old control panel.

---

Keywords Winder, Plc

## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
1 JOHDANTO .....	6
2 RULLAIN .....	7
3 LAITTEISTO .....	10
3.1 Logiikka .....	10
3.2 Taajuusmuuttajat .....	11
3.2.1 Parametrit .....	11
3.2.2 Kenttäväyläohjaus .....	12
4 TYÖN VAIHEET .....	14
4.1 Logiikkaohjelmointi .....	14
4.2 Toiminnan testaus .....	14
5 LOPPUTULOS .....	16
5.1 Logiikkaohjelma .....	16
5.1.1 Halkaisijan laskenta .....	16
5.1.2 Pituuden laskenta .....	17
5.1.3 Pysäytysennakko .....	19
5.1.4 Ratanopeuden ohjaus .....	23
5.1.5 Momenttiohjaus .....	24
5.1.6 Kommunikointi käyttöjen kanssa .....	24
5.2 Rullaimen ohjaus .....	26
5.2.1 Parametrointi .....	26
5.2.2 Käyttöjen käynnistys .....	27
5.2.3 Alkuhalkaisijan asetus .....	28
5.2.4 Ohjearvot .....	29
5.2.5 Käynnistys .....	30
5.2.6 Autostop .....	30
5.2.7 Pysähtyminen .....	31
5.2.8 Käyttöjen sammutus .....	31
5.2.9 Suunnanvaihto .....	31

LÄHDELUETTELO.....	32
LIITE 1 Logiikkaohjelman lohkokaaavioesitys	

## **1 JOHDANTO**

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa rullainsovellus, jonka ohjaus tapahtuu logiikassa mahdollisimman pitkälle. Rullainsovelluksen suunniteltu käyttö on opetuskäyttö sähkökäyttöjen, säätötekniikan sekä automaatiotekniikan opetuksessa. Logiikkaohjelman ja logiikan konfiguraation lisäksi työhön sisältyi InTouchilla tehty valvomosovellus rullaimen ohjaukseen, taajuusmuuttajien konfigurointi sekä ratkaisuiden dokumentointi.

## 2 RULLAIN

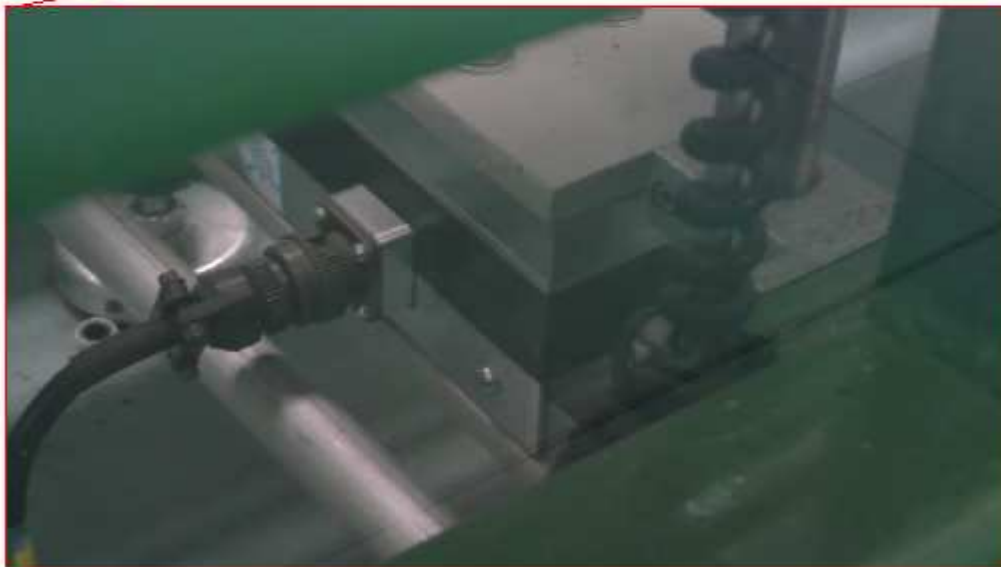
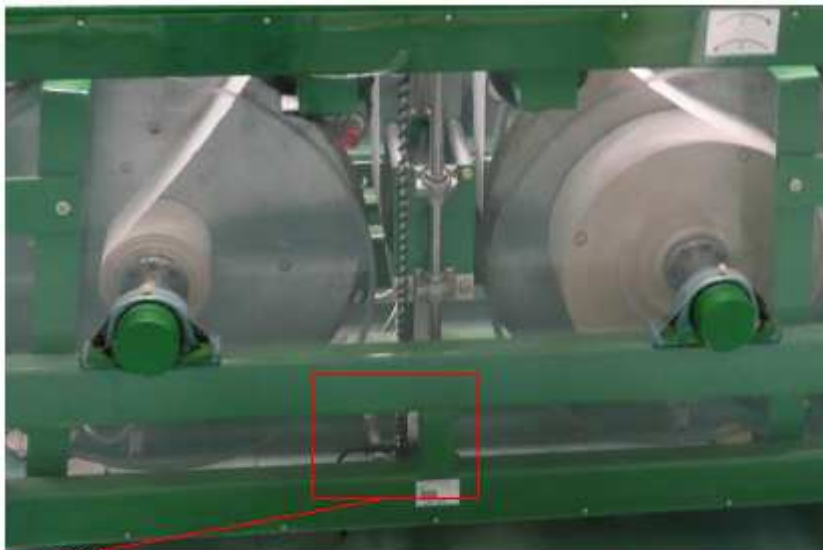
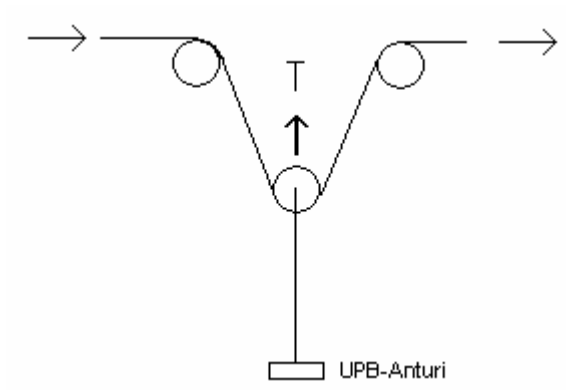
Rullain muodostuu aukirullaimesta ja kiinnirullaimesta. Aukirullain nimensä mukaisesti pyörittää rullaa auki, ja kiinnirullain kiinni muodostaen uuden rullan. Kiinnirullainta pyöritetään nopeusohjattuna, jotta saadaan aikaan haluttu ratanopeus. Alkuvaihetta lukuun ottamatta aukirullain toimii momenttiohjattuna generaattorina, joka pyrkii jarruttamaan radan kulkua aiheuttaen siihen näin halutun ratakireyden. /1/

Kuvassa 1 on esitetty Technobothniassa oleva rullain joka on rakenteeltaan hyvin pelkistetty. Se koostuu kahdesta kelasta (aukirullain ja kiinnirullain) ja niitä pyörittävistä moottoreista, sekä ratanopeuden ja ratakireyden mittauksesta. Suurimmaksi ratanopeudeksi on ohjelmallisesti asetettu 200 m/min ja ratakireydeksi 200 N.



**Kuva1.** Technobothnian rullain.

Ratakireyden määrittämiseksi nauha kulkee erillisen telan alta, joka on akseliltaan kiinnitetty Under-Pillow-Block (UPB) -tyyppiseen voima-anturiin. Nauhaa vedettäessä keskitela pyrkii nousemaan ylöspäin nauhan vetokireyteen verrannollisesti, jolloin UPB-anturi mittaa vetävän voiman. Anturi on kalibroitu antamaan jänniteviestin 0...10 V ratakireyden ollessa 0...200 N. Ratakireysmittauksen periaate esitetty kuvassa 2.



**Kuva 2.** Ratakireyden mittausta.

Kireyden lisäksi mitataan myös ratanopeutta kahdella kuvan 3 mukaisella anturilla. Antureita on kaksi, jotta saadaan mitattua nopeus molempiin suuntiin rullattaessa. Ohjauspaneelin kytkimellä voidaan valita kumpaa anturia käytetään.



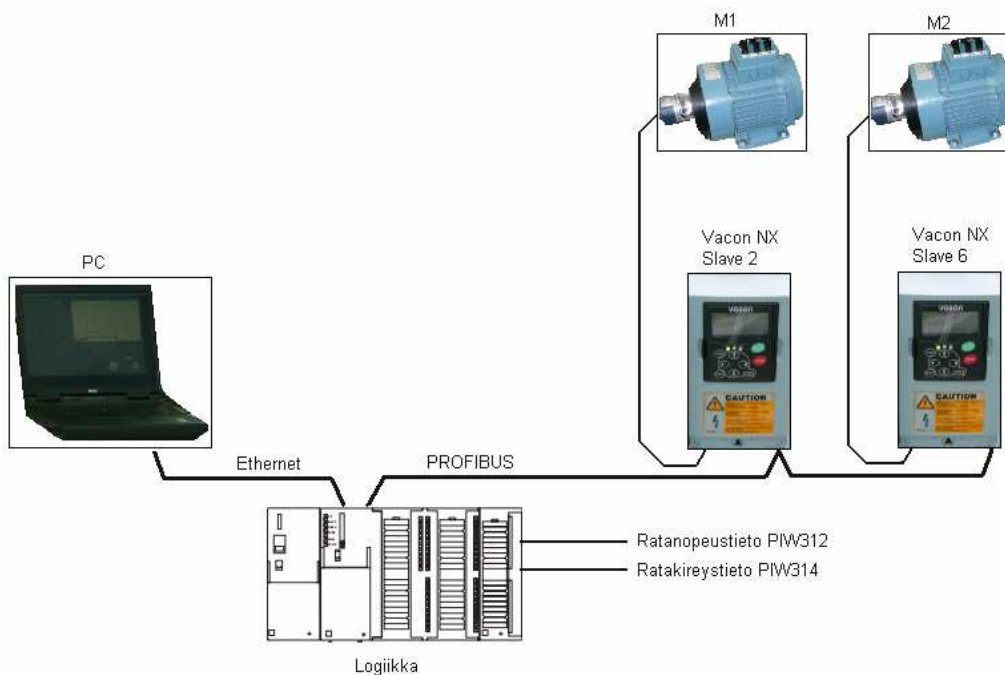
Anturit on kalibroitu antamaan jänniteviesti 0...10 V ratanopeuden ollessa 0...200 m/min.



**Kuva 3.** Ratanopeusanturi

### 3 LAITTEISTO

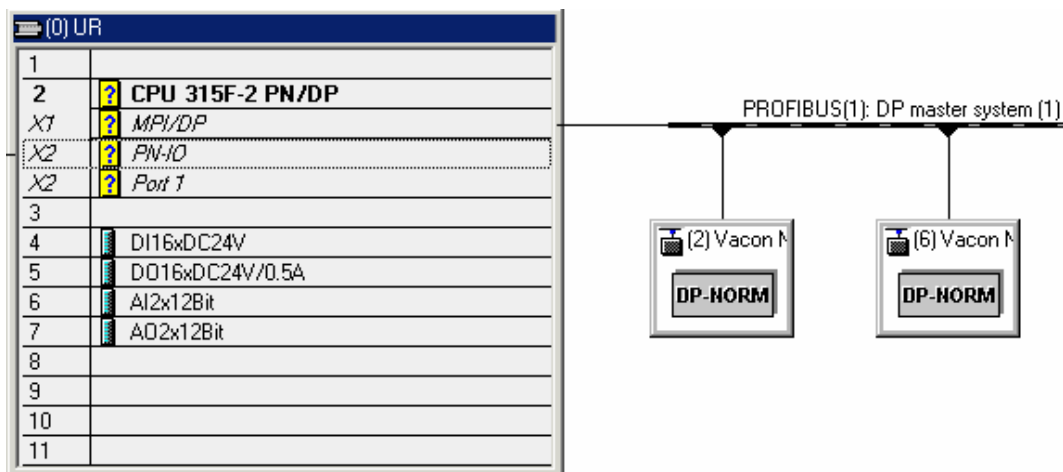
Rullaimen käyttöön tarvittava laitteisto koostuu auki- ja kiinnirullaimia pyörittävistä moottoreista, moottoreita ohjaavista taajuusmuuttajista, sekä logiikasta. PC:llä voidaan tehdä muutoksia logiikkaan ja taajuusmuuttajien asetuksiin, sekä ohjata prosessia käyttäen InTouch –valvomosovellusta. Laitteiden kytkennät toisiinsa on esitetty kuvassa 4.



**Kuva 4.** Järjestelmän konfiguraatiokaavio.

#### 3.1 Logiikka

Ohjaavana logiikkana työssä on käytetty Siemensin Simatic S7-300 sarjaa. Logiikka koostuu erillisistä korteista, joita voidaan liittää yhteen tarvittavien toimintojen mukaan. Kuvassa 5 käytössä olleet kortit (kuva hardwarekonfiguraatiosta). Keskusyksiköksi on valittu 315F-2 PN/DP sen sisältämien ethernet- ja PROFIBUS -liitäntöjen ansiosta. Ethernetväylän kautta logiikka on kytketty ohjelmointitietokoneeseen, jolloin saavutetaan huomattavasti suurempi tiedonsiirtonopeus MPI-väylään verrattuna.



**Kuva 5.** Logiikan hardwarekonfiguraatio.

### 3.2 Taajuusmuuttajat

Moottoreita ohjataan kahdella Vaconin NXP-sarjan taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajat on kytketty logiikkaan PROFIBUS –väylän kautta. Taajuusmuuttajiin on lisätty erilliset ohjauskortit kenttäväyläohjausta ja moottorin takometrisignaalia varten. PROFIBUS-DP –optiokortti OPT-C5 on liitetty taajuusmuuttajan korttipaikkaan E, ja enkooderikortti OPT-A5 korttipaikkaan C.

#### 3.2.1 Parametrit

Ennen käyttöä taajuusmuuttajalle ilmoitetaan sen tarvitsemat tiedot moottorista ja sen ohjaustavasta muuttamalla tarvittavia parametreja. Esimerkkinä parametreista taulukossa 1 moottorin kilpiarvot. Parametreja voidaan muuttaa joko suoraan taajuusmuuttajan näyttöpaneelilta, tai yhdistämällä taajuusmuuttaja tietokoneeseen ja käyttämällä NCDrive –nimistä ohjelmaa.

**Taulukko 1.** Moottorin kilpiarvot NCDrive –ohjelmassa.

Index	Variable Text	Value	Default	Unit	Min	Max
P 2.1.1	Supply Voltage	400		V	0	1000
P 2.1.2	Motor Nom Volts	400		V	180	700
P 2.1.3	Motor Nom Freq	50.00		Hz	30.00	320.00
P 2.1.4	Motor Nom Currnt	9.3		A	0.0	14.0
P 2.1.5	Motor Nom Speed	485		rpm	300	3000
P 2.1.6	Motor Cos Phi	0.50			0.30	1.00
P 2.1.7	Process Speed	500.0		rpm	0.0	6553.5
P 2.1.8	Magn. Current	0.0		A	0.0	9.3
P 2.1.9	Field Weakng Pnt	50.00		Hz	8.00	320.00
P 2.1.10	Voltage at FWP	100.00		%	5.00	200.00
P 2.1.11	ID Run	0 / None			0	4
P 2.1.12	Motor Type	0 / Normal IM			0	3

### 3.2.2 Kenttäväyläohjaus

Yhteydenpito logiikan ja taajuusmuuttajien välillä tapahtuu kenttäväylän kautta. Kenttäväyläohjaus otetaan taajuusmuuttajalta käyttöön valitsemalla parametrille P 2.6.1 ohjauspaikaksi kenttäväylän. Lisäksi taajuusmuuttajan Profibus DP –optiokortin Slave-osoite ja PPO-tyyppi muutettiin vastaamaan logiikalle syötettyjä arvoja taulukon 2 mukaisesti. Käyttötilaksi valittiin ohikytketty (2 / ByPass), jolloin prosessidata-kentän tieto siirtyy sovellusrajapintaan käsittelemättömänä. /2/,/3/

**Taulukko 2.** Taajuusmuuttajan PROFIBUS-DP –optiokortin määrittelyt.

Index	Variable Text	Value	Default	Unit	Min	Max
P 2.6.1	Control Place	0 / Fieldbus			0	2
Index	Variable Text	Value	Default	Unit	Min	Max
P 7.5.1.1	Slave Address	6	126		2	126
P 7.5.1.2	Baud Rate	10 / Auto	10 / Auto		1	10
P 7.5.1.3	PPO Type	5 / PPO5	1 / PPO1		1	5
P 7.5.1.4	Operate Mode	2 / ByPass	1 / ProfiDrive		1	3

PPO –tyypin ollessa PPO 5, väyläliikennöinnissä on käytössä ohjaus- ja tilasanojen lisäksi prosessitietosanat 1-8. Kuvassa 6 esitetty eri PPO –tyyppien sisällöt. Sanoille määräytyvät osoitteet voidaan määrittellä logiikan hardwarekonfiguraatiosta. Esimerkiksi Slave-osoitteen 6 taajuusmuuttajalle on tulo- ja lähtösanojen osoitteisto määritelty alkamaan arvosta 264 kuvan 7 mukaisesti. Tällöin taajuusmuuttajan ohjaussanaa vastaa logiikalla osoite PQW264, ja esimerkiksi prosessitietoa IN6 osoite PQW278.

Parametrikenttä			Prosessidat Kenttä									
ID	IND	VALUE	CW	REF	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PD8
			SW	ACT	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PD8
PPO 1												
PPO 2												
PPO 3												
PPO 4												
PPO 5												

**Kuva 6.** PPO –tyyppien sisällöt.

Slot	DP ID	Order Number / Designation	I Address	Q Address
1	4AX	VACON PPO 5	256...263	256...263
2	10AX	-> VACON PPO 5	264...283	264...283

**Kuva 7.** Taajuusmuuttajan osoiteväli logiikalla.

Prosessitietoihin voidaan vapaasti konfiguroida halutut signaalit tai ohjattavat parametrit taajuusmuuttajan data mapping –toiminnon kautta. Esimerkiksi momenttiohjauksen valitsemiseksi prosessitietosanaan IN6 on määritelty kyseistä toimintoa vastaava ID-numero 1278. Taulukossa 3 on esitetty taajuusmuuttajille tehdyt määrittelyt data mapping –toiminnolla.

**Taulukko 3.** Data mapping –välilehden sisältö.

Index	Variable Text	Value	Default	Unit	Min	Max
P 2.17.1	PD IN1 ID	1140			0	65535
P 2.17.2	PD IN2 ID	1268			0	65535
P 2.17.3	PD IN3 ID	0			0	65535
P 2.17.4	PD IN4 ID	0			0	65535
P 2.17.5	PD IN5 ID	0			0	65535
P 2.17.6	PD IN6 ID	1278			0	65535
P 2.17.7	PD IN7 ID	0			0	65535
P 2.17.8	PD IN8 ID	0			0	65535
P 2.17.9	PD OUT1 ID	4			0	65535
P 2.17.10	PD OUT2 ID	1163			0	65535
P 2.17.11	PD OUT3 ID	1172			0	65535
P 2.17.12	PD OUT4 ID	1173			0	65535
P 2.17.13	PD OUT5 ID	15			0	65535
P 2.17.14	PD OUT6 ID	1174			0	65535
P 2.17.15	PD OUT7 ID	1170			0	65535
P 2.17.16	PD OUT8 ID	1169			0	65535

## 4 TYÖN VAIHEET

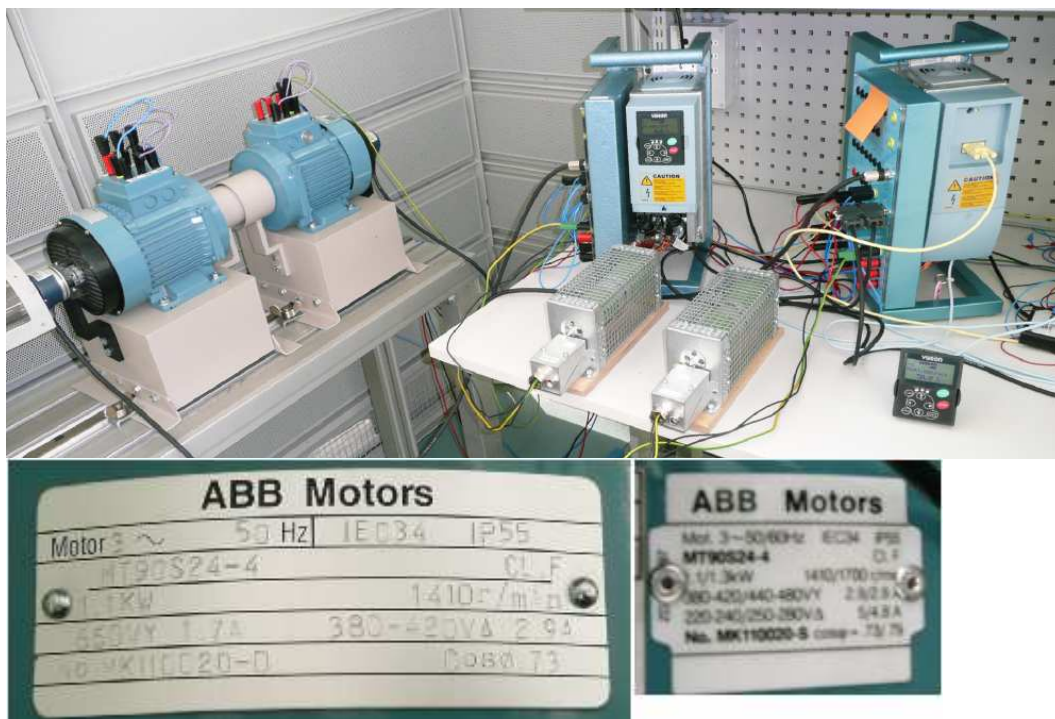
### 4.1 Logiikkaohjelmointi

Logiikkaohjelma on tehty käyttäen Siemensin Step-7 –ohjelmointityökalua. Ohjelmointikielinä on käytetty logiikkakaavioesitystä (FBD, function block diagram) ja käskylistaesitystä (STL, statement list). Käskylistaesitystä käytettiin erityisesti matemaattisia operaatioita vaativissa toiminnoissa, sillä saavutettavan lyhyemmän ohjelmarakenteen ansiosta. Käskylistaesityksen esitystapa ja komennot poikkeavat muista esitysmuodoista, joten sen käyttö vaatii hieman perehtymistä.

Ohjelmoinnissa on pyritty mahdollisuuksien mukaan muodostamaan erillisiä aliohjelmia, jolloin yhtä aliohjelmia voidaan käyttää saman toiminnon tuottamiseksi ohjelman eri osissa.

### 4.2 Toiminnan testaus

Ohjelman toimivuuden testaamiseksi kytkettiin kaksi ABB:n 1.1 kW:n moottoria testipöytään akselit vastakkain kuvan 8 mukaisesti. Ratakireyden säädön toimivuutta voitiin näin tarkastella käyttämällä säätöpiirissä kireyden tilalla moottorin momenttia.

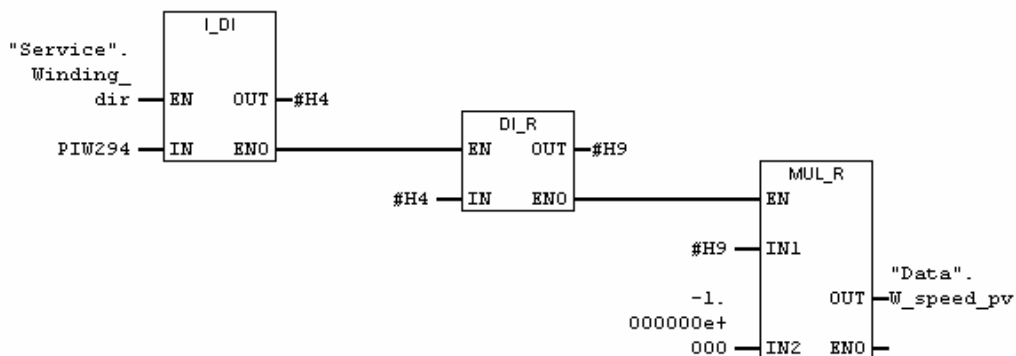


**Kuva 8.** Testaustilanne ja testissä käytettyjen moottorien kilpiarvot.

Varsinaisesta rullaimesta poiketen toinen moottorit pyörivät testitilanteessa oletuksena eri suuntiin, joten toisen moottorin pyörimissuunta täytyi testejä varten kääntää. Ohjelmalohkoon, missä kommunikointi logiikan ja käyttöjen välillä tapahtui, lisättiin kiinnirullaimen nopeus- ja momenttiviestien siirron rinnalle ylimääräiset piirit, mitkä saatiin käyttöön nostamalla yksi bitti ohjelmassa päälle. Uusissa piireissä luku- ja kirjoitussuureet kerrottiin kertoimella -1, jolloin moottorin pyörimissuunta vaihtuu. Kuvassa 9 esimerkkinä kiinnirullaimen pyörimisnopeuden luku käytöltä logiikkaan.

**Network 14** : Title:

Enables changin of winders rotation direction for testing purposes, not used in normal operation.



**Kuva 9.** Logiikkaohjelman pätkä jossa luetaan pyörimisnopeus.

## 5 LOPPUTULOS

### 5.1 Logiikkaohjelma

#### 5.1.1 Halkaisijan laskenta

Auki- ja kiinnirullainten halkaisijoille ei ole erillistä mittausta, vaan ne lasketaan ohjelmassa käyttäen hyväksi ratanopeuden mittaustietoa sekä rullainten käytöiltä saatavaa pyörimisnopeustietoa. Rullan kehänopeus, mikä vastaa myös ratanopeutta, saadaan selville kaavasta

$$v = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{i} \quad (1)$$

missä  $v$  on ratanopeus,  $n$  moottorin pyörimisnopeus,  $d$  rullan halkaisija ja  $i$  rullaimen välityssuhde. Ratkaisemalla halkaisija saadaan kaava muotoon

$$d = \frac{v \cdot i}{n \cdot \pi} \quad (2)$$

Kuvassa 10 ohjelmalohko, joka laskee rullan halkaisijaa.

```

FC45 : D=f(v,f,i)
Comment:
Network 1: Title:
Comment:

L      #Rotational_Speed
L      0.000000e+000
==R
JC     LAB1

L      #Web_Speed
L      #Rotational_Speed
/R
T      #h1

L      #Gear_Ratio
L      3.141500e+000
/R
T      #h2

L      #h1
L      #h2
*R
T      #Diameter
JU     LABE

LAB1: L      0.000000e+000
      T      #Diameter

LABE: NOP  0

```

**Kuva 10.** Rullan halkaisijan laskeva ohjelmalohko.



### 5.1.2 Pituuden laskenta

Halkaisijan laskennan lisäksi valmiiseen työhön toteutettiin rullaimilla olevan nauhan pituuden laskenta. Laskentaan käytettävää periaatetta on lähdetty kehittämään ajatuksesta, että nauhan pituus peräkkäisillä kierroksilla muodostaa aritmeettisen sarjan. Kun nauhaa lähdetään rullaamaan tyhjälle hylsulle, ensimmäisen kierroksen pituus vastaa hylsyn ulkoreunan pituutta, joka saadaan laskettua hylsyn halkaisijan avulla;

$$L_1 = \pi \cdot d_h \quad (3)$$

missä  $d_h$  vastaa hylsyn halkaisijaa. Toisella kierroksella rullan halkaisija on kasvanut kaksi kertaa nauhan paksuuden verran, jolloin kierroksen pituudeksi saadaan

$$L_2 = \pi \cdot (d_h + 2 \cdot T) \quad (4)$$

missä  $T$  vastaa nauhan paksuutta. Näin kierroksen  $n$  pituudeksi saadaan

$$L_n = \pi \cdot (d_h + [2n - 1] \cdot T) \quad (5)$$

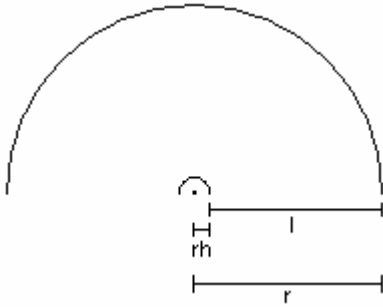
Kierrosten  $1, 2, 3, \dots, n$  pituuksien summaksi saadaan aritmeettisen sarjan laskukaavan mukaisesti

$$\sum L = \frac{\pi \cdot d_h + \pi \cdot (d_h + [2n - 1] \cdot T)}{2} \cdot n \quad (6)$$

Termi  $(d_h + [2n - 1] \cdot T)$  vastaa rullan halkaisijaa mittaushetkellä, joten termi voidaan korvata ohjelman aikasemmin laskemalla rullan halkaisijalla  $D$ . Näin pituuden kaava saadaan muotoon

$$\sum L = \frac{n \cdot \pi \cdot (d_h + D)}{2} \quad (7)$$

Termit  $D$  ja  $d_h$  tiedetään, joten rullan pituuden laskemiseksi täytyy määrittää rullalla olevien kierrosten määrä  $n$ . Tiedetään, että rullan halkaisija kasvaa peräkkäisillä kierroksilla aina kaksi kertaa nauhan paksuuden verran. Kun rullan mittaushetken säteestä  $r$  vähennetään tyhjän hylsyn säde  $r_h$ , saadaan rullalla olevan nauhan kokonaispaksuus  $l$  määriteltyä kuvan 11 mukaisesti.



**Kuva 11.** Rulla sivusuunnasta katsottuna.

Paksuus  $l$  muodostuu päällekkäisistä kierroksista, jolloin kierrosten määrä pystytään laskemaan, kun nauhan paksuus tunnetaan.

$$n = \frac{r - r_h}{T} \quad (8)$$

Kun säteet muutetaan halkaisijoiksi päästään muotoon

$$n = \frac{D - d_h}{2 \cdot T} \quad (9)$$

Käyttämällä kaavoja 7 ja 9, saadaan aikaan kuvan 12 mukainen ohjelmalohko joka laskee ensin välituloksena kierrosten lukumäärän, ja lopullisena tuloksena nauhan pituuden.

FC32 : Title:

Comment:

Network 1: Title:

Comment:

```

L      #Tichness
L      0.000000e+000
==R
JC     LAB1

L      #d
L      #d0
-R
L      #Tichness
/R
L      2.000000e+000
/R
T      #rev

L      #d
L      #d0
+R
L      3.141600e+000
*R
L      #rev
*R
L      5.000000e-001
*R
T      #length
JU     LABE

LAB1: L      0.000000e+000
      T      #length

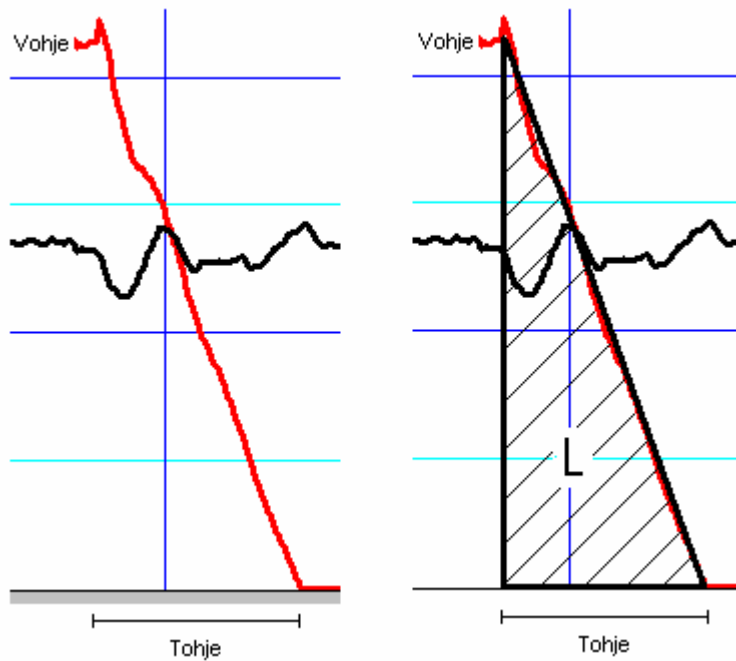
LABE: NOP   0

```

**Kuva 12.** Ohjelmalohko, joka laskee rullalla olevan nauhan pituuden.

### 5.1.3 Pysäytysennakko

Jotta rullain saadaan pysäytettyä tarkasti sille asetettuihin mittoihin, täytyy jarrutus aloittaa jo ennen varsinaisten mittojen täyttymistä. Tätä varten täytyy laskea pituus, joka rullataan jarrituksen aloittamisen ja pysähtymisen välisenä aikana. Kiihdytykseen ja hidastukseen on ohjelmassa käytetty suoraa ramppia, joten jarrutuksessa rullattu pituus on helpohko laskea. Kun tiedetään nopeuden ohjearvo ja hidastusaika, rullattu matka saadaan kolmion pinta-alasta kuvan 13 mukaisesti.



**Kuva 13.** Jarrutuksessa rullattavan matkan määrittäminen.

Jarrutusaika annetaan parametrina, joka määrää kuinka kauan jarrutus ratanopeuden maksimiarvosta kestää, joten muille kuin maksiminopeuksille täytyy laskea oma jarrutusaika. Nopeudelle ominainen jarrutusaika  $T_{ohje}$  saadaan kaavasta

$$T_{ohje} = \frac{V_{ohje}}{V_{max}} \cdot T_{par} \quad (10)$$

missä  $V_{ohje}$  on nopeuden ohjearvo, mistä jarrutus aloitetaan,  $V_{max}$  ratanopeuden maksimiarvo ja  $T_{par}$  parametrina annettu hidastusaika maksiminopeudesta. Nyt pituus  $L$  saadaan kolmion pinta-alasta

$$L = \frac{T_{ohje} \cdot V_{ohje} \left[ \frac{m}{s} \right]}{2} \quad (11)$$

Ohjelma käsittelee nopeuksia yksikkönä m/min, jolloin kaava muuttuu muotoon

$$L = \frac{T_{ohje} \cdot V_{ohje} \left[ \frac{m}{min} \right]}{120} \quad (12)$$

minkä pohjalta tehty ohjelmalohko kuvassa 14.

```

FC80 : Title:
Comment:
Network 1: Title:
Comment:
L      #Max_web_speed
L      0.000000e+000
==R
JC     LAB1

L      #Speed_control
L      #Max_web_speed
/R
L      #Decel_time
*R
L      #Speed_control
*R
L      1.200000e+002
/R
T      #Lenght_predict
JU     LABE

LAB1: L      0.000000e+000
      T      #Lenght_predict

LABE: NOP   0

```

**Kuva 14.** Ohjelmalohko, joka laskee pysäytysajan tietyllä ratanopeuden ohjeella.

Rullan pituuden mukaan pysäytettäessä riittää laskettu pituusennakko, mutta halkaisijan mukaan ajettaessa täytyy saadun pituuden avulla laskea uusi halkaisija, missä jarrutus aloitetaan. Aukirullaimelle uutta halkaisijaa määritettäessä voidaan käyttää lähtökohtana kappaleessa 5.1.2 tarkasteltua aritmeettista sarjaa (Kaava 6).

$$\sum L = \frac{\pi \cdot d_h + \pi \cdot (d_h + [2n - 1] \cdot T)}{2} \cdot n \quad (6)$$

Kun hylsyn halkaisijan  $d_h$  tilalla käytetään rullalle asetettua halkaisijaa  $d_0$ , voidaan lausekkeen mukaisesti lähteä laskemaan asetushalkaisijan päälle lisätyjä kierroksia niin, että kierrosten yhteenlaskettu pituus ( $\sum L$ ) vastaa ratanopeudelle ominaista jarrutusmatkaa. Kun ratkaistaan tuntematon tekijä  $n$ , kaava muuttuu muotoon:

$$n = \frac{-(\pi \cdot d_0 - 0.5 \cdot \pi \cdot T) + \sqrt{(\pi \cdot d_0 - 0.5 \cdot \pi \cdot T)^2 + (4 \cdot \pi \cdot T \cdot L)}}{2 \cdot \pi \cdot T} \quad (13)$$

Kun näin saatu kierros määrä ja asetushalkaisija syötetään kappaleen 5.1.2 kaavaan 9, saadaan selville halkaisija  $D$ , missä jarrutus täytyy aloittaa.

$$n = \frac{D - d_0}{2 \cdot T} \Leftrightarrow D = 2 \cdot n \cdot T + d_0 \quad (14)$$

Kiinnirullaimella rullan halkaisija kasvaa, jolloin pysäytyshalkaisijaa laskettaessa asetushalkaisijasta täytyy vähentää jarrutusmatkaan kuluvat kierrokset. Tällöin aritmeettisen sarjan termi pituudelle kierroksella  $n$  muuttuu muotoon

$$L_n = \pi \cdot (d_0 - [2n - 1] \cdot T) \quad (15)$$

ja pituuksien summa muotoon

$$\sum L = \frac{\pi \cdot d_n + \pi \cdot (d_n - [2n - 1] \cdot T)}{2} \cdot n \quad (16)$$

Kun ratkaistaan jälleen  $n$ , saadaan kaava muotoon

$$n = \frac{-(\pi \cdot d_0 - 0.5 \cdot \pi \cdot T) + \sqrt{(\pi \cdot d_0 - 0.5 \cdot \pi \cdot T)^2 - (4 \cdot \pi \cdot T \cdot L)}}{2 \cdot \pi \cdot T} \quad (17)$$

Nyt käyttämällä kaavoja 9 ja 13 saadaan laskettua aukirullaimelle uusi pysäytys-halkaisija, ja kaavoja 9 ja 17 käyttämällä kiinnirullaimelle. Kuva 15 valmiista ohjelmalohkoista.

<pre> L      #Tichness L      0.000000e+000 ==R JC     LAB1  L      3.141600e+000 L      #Dia_setting *R SQR T      #Calc1  L      4.000000e+000 L      3.141600e+000 *R L      #Tichness *R L      #L_predict *R L      #Calc1 +R SQRT T      #Calc2  L      3.141600e+000 L      #Dia_setting *R L      -1.000000e+000 *R L      #Calc2 +R L      2.000000e+000 /R L      3.141600e+000 /R L      #Tichness /R T      #rev  L      2.000000e+000 L      #Tichness *R L      #rev *R L      #Dia_setting +R T      #Dia_predict JU     LABE  LAB1: L      #Dia_setting T      #Dia_predict  LABE: NOP  0 </pre>	<pre> L      #Tichness L      0.000000e+000 ==R JC     LAB1  L      3.141600e+000 L      #Dia_setting *R SQR T      #Calc1  L      4.000000e+000 L      3.141600e+000 *R L      #Tichness *R L      #L_predict *R L      -1.000000e+000 *R L      #Calc1 +R SQRT T      #Calc2  L      3.141600e+000 L      #Dia_setting *R L      -1.000000e+000 *R L      #Calc2 +R L      2.000000e+000 /R L      3.141600e+000 /R L      #Tichness /R T      #rev  L      2.000000e+000 L      #Tichness *R L      #rev *R L      #Dia_setting +R T      #Dia_predict JU     LABE  LAB1: L      #Dia_setting T      #Dia_predict  LABE: NOP  0 </pre>
Aukirullain	Kiinnirullain

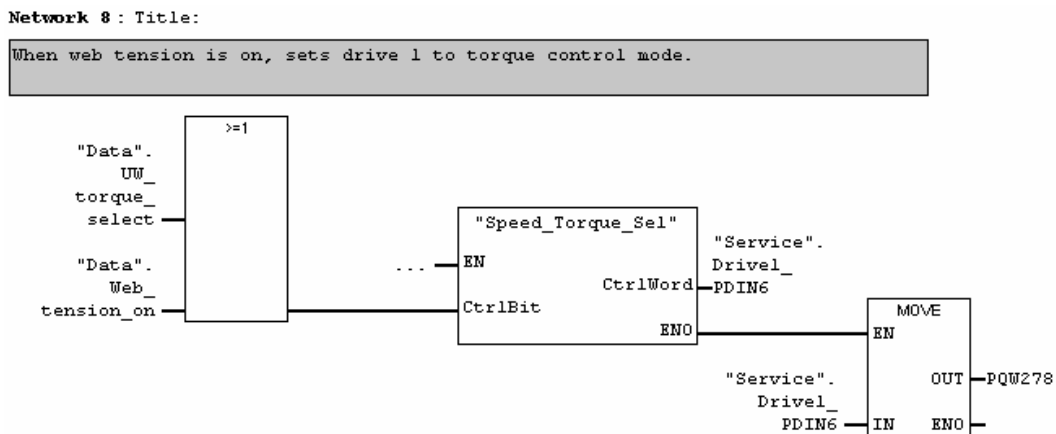
**Kuva 15.** Ohjelmalohkot, joissa lasketaan pysäytyshalkaisijat auki- ja kiinnirullaimille.

#### 5.1.4 Ratanopeuden ohjaus

Ratanopeuden säädölle ei logiikassa ole erillistä säätöpiiriä. Ratanopeusohjeen ja rullan halkaisijoiden perusteella logiikka laskee käytöille pyörimisnopeusohjeet. Pyörimisnopeusohjeet päivittyvät jokaisella ohjelmakerroksella, joten nopeuden hienosäätö jää taajuusmuuttajan nopeussäädölle.

### 5.1.5 Momenttiohjaus

Halutun ratakireyden ylläpitämiseksi aukirullain täytyy vaihtaa nopeusohjaukselta momenttiohjaukselle. Kun haluttu ratakireys saavutetaan, ohjelma kirjoittaa aukirullainta ohjaavalle taajuusmuuttajalle prosessitieto IN6:een momenttiohjausta vastaavan numeroarvon, jolloin käyttö alkaa nopeusohjeen sijasta seuraamaan logiikalta tulevaa momenttiohjetta. Kuvassa 16 esitetty ohjaustavan vaihdon tekevä ohjelma.



**Kuva 16.** Ohjelman osa, joka vaihtaa aukirullaimen momenttiohjatukseksi.

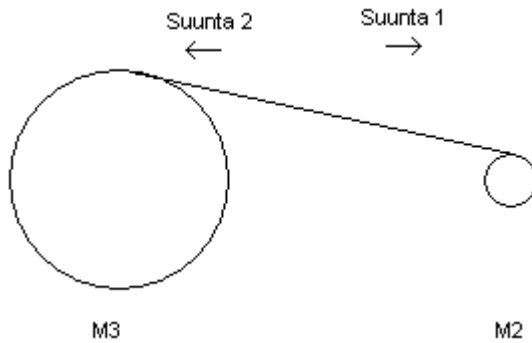
### 5.1.6 Kommunikointi käyttöjen kanssa

Rullainta ohjaava logiikkaohjelma toteutettiin alun perin vain yhtä ajosuuntaa varten. Jotta suunnanvaihto saatiin lisättyä ohjelmaan mahdollisimman vähin muutoksin, päädyttiin ratkaisuun missä ajosuunnan valinta tapahtuu logiikan ja käyttöjen välisen kommunikoinnin rajapinnalla väyläosoitteita vaihtamalla. Kommunikointi tapahtuu kahden ohjelmalohkon kautta, joista vain toinen on kerrallaan käytössä ajosuunnasta riippuen. Ohjelmalohko lukee logiikalta tarvittavat ohjaussuureet, ja lähettää ne kenttäväylän kautta rullaimia ohjaaville taajuusmuuttajille. Sama prosessi tapahtuu kääntäen rullaimelta saataville tilatiedoille.

Rullattaessa suuntaan 1, moottori M3 toimii aukirullaimena ja M2 kiinnirullaimena. Vastaavasti suuntaan 2 ajettaessa M3 toimii kiinnirullaimena ja M2 aukirullaimena kuvan 17 mukaisesti. Kommunikoinnin hoitavissa ohjelmalohkoissa auki- ja kiinnirullaimien ohjaussuureet lähetetään moottoreita M2 ja M3 ohjaaville käytöille ajosuunnan mukaisesti. Esimerkkinä kuvissa 18 ja 19 kiinnirullaimen nopeusohje. Suuntaan 1 rullattaessa nopeusohje muutetaan real-tyyppisestä muuttujasta sanaksi, ja kirjoitetaan väylälle osoitteeseen PQQW294. Suuntaan 2 rullattaessa auki- ja kiinnirullain ovat ”vaihtaneet paikkoja”, joten osoite täytyy lähettää toiselle taajuusmuuttajalle osoitteeseen PQQW266. Suuntaan

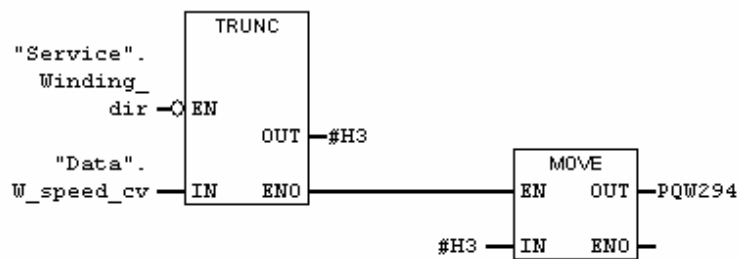


2 rullattaessa moottori pyörii lisäksi toiseen suuntaan, joten nopeusohje muutetaan vastakkaiseksi kertomalla se luvulla -1.



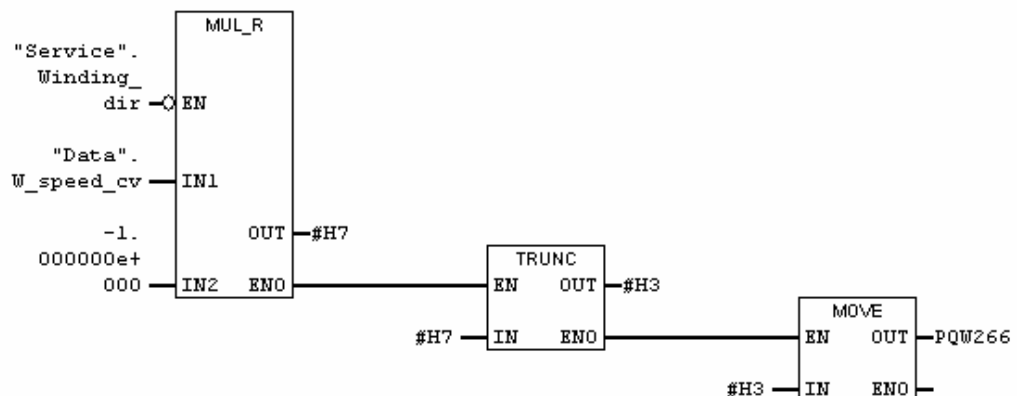
**Kuva 17.** Ajosuunnat edestäpäin katsottaessa.

Winder speed control value is converted from real to word and transmitted to drive.



**Kuva 18.** Kiinnirullaimen nopeusohjeen kirjoitus käytölle rullattaessa suuntaan 1.

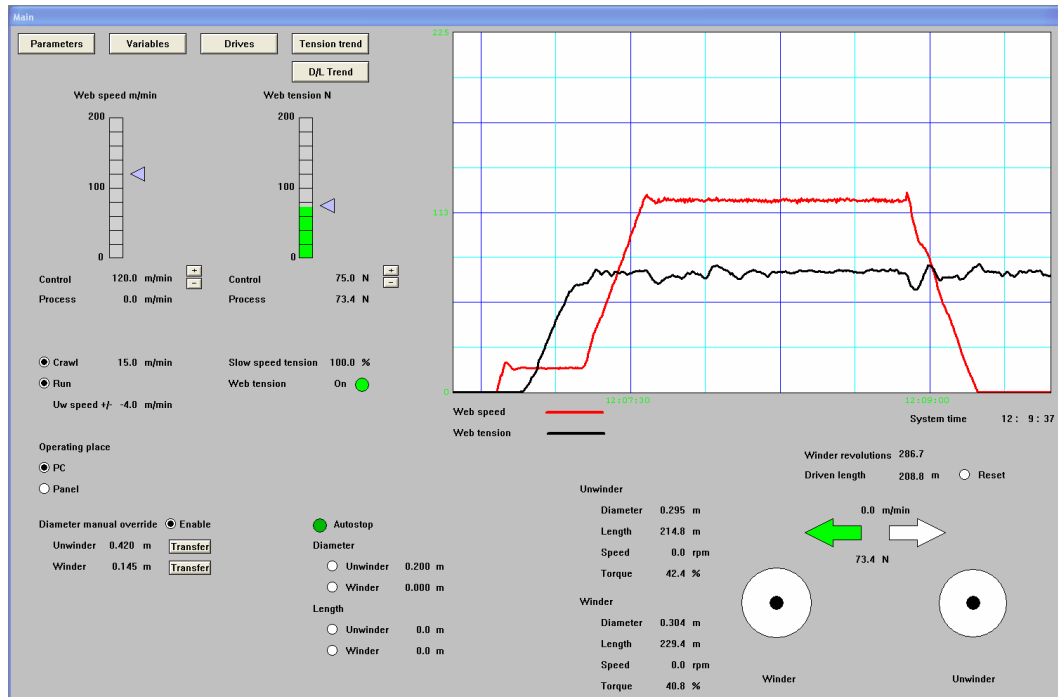
Winder speed control value is converted from real to word and transmitted to drive. On winding direction 1, motor has to rotate on reverse direction, so control value is multiplied by -1.



**Kuva 19.** Kiinnirullaimen nopeusohjeen kirjoitus käytölle rullattaessa suuntaan 2.

## 5.2 Rullaimen ohjaus

Rullaimen käyttöä varten tehtiin valvomosovellus InTouchilla. Kuvassa 20 valvomosovelluksen pääsivu.



**Kuva 20.** Rullainsovelluksen pääsivu InTouchissa.

### 5.2.1 Parametrointi

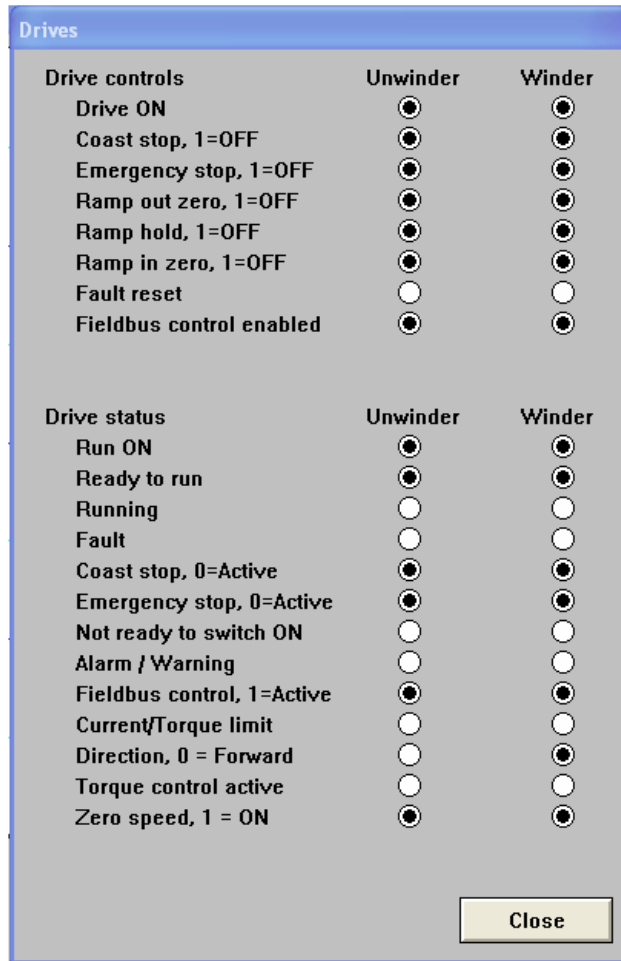
Kaikki ohjauksessa tarvittavat parametrit löytyvät Parameters –välilehden takaa. Parametreille on annettu oletusarvo logiikan datablockeihin, joka ladataan käynnistettäessä järjestelmä ensimmäistä kertaa. Mikäli parametreja halutaan muuttaa, täytyy muuttaminen sallia ruksaamalla kohta ”Parameter value changing”. Lupa poistuu kun ikkuna suljetaan. Kuvassa 20 valvomosovelluksen parameters –ikkuna.

Parameters		
Motor parameters	Unwinder	Winder
Gear ratio	1.0	1.0
Maximum speed	500.0 rpm	500.0 rpm
Inertia	0.20 kgm <sup>2</sup>	0.20 kgm <sup>2</sup>
Field weakening pt. speed	485.0 rpm	485.0 rpm
Friction torque	0.40 Nm	0.40 Nm
Friction force	1.00 N	1.00 N
<b>Tension controller</b>		
Gain	0.80	
Integration time	3.50 s	
Scale	1.0	
High limit	125.0 N	
Low limit	-125.0 N	
Tension reference slope	0.125	
<b>Web</b>		
Maximum web speed	200.0 m/min	
Maximum web tension	200.0 N	
Web thickness	0.0003 m	
Web width	0.12 m	
Web density	700.0 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Reel</b>		
Empty reel diameter	0.09 m	
Empty reel radius	0.05 m	
Maximum roll diameter	0.60 m	
<b>Acceleration and deceleration times</b>		
Normal operation	35.0 s	
Emergency stop	35.0 s	
Web break	35.0 s	
<b>Autostop parameters</b>		
Unwinder min diameter	0.300 m	
Unwinder max diameter	0.450 m	
Winder min diameter	0.150 m	
Winder max diameter	0.450 m	
Length correction	0.0 m	
Parameter value changing		
<input type="radio"/> Enable		
		<input type="button" value="Close"/>

**Kuva 20.** Parameters –välilehti.

## 5.2.2 Käyttöjen käynnistys

Käyttöjen käynnistys tapahtuu Drives –välilehdeltä. Kohdan Drive controls – valinnat tulee olla kuvan 21 mukaisesti. Drives –välilehdeltä näkee myös käyttöjen tilatietoja.

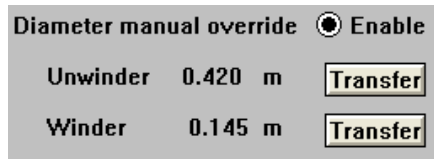


**Kuva 21.** Drives –välilehti.

### 5.2.3 Alkühalkaisijan asetus

Ennen käyttöä täytyy auki- ja kiinnirullaimille asettaa lähtöhalkaisijat. Halkaisijoiden manuaalinen asetus voi olla tarpeen myös vikatilanteissa, mikäli ohjelman laskemat halkaisijat eivät pidä paikkaansa. Halkaisijoiden syötölle annetaan lupa valitsemalla kohta ”Diameter manual override” kuvan 22 mukaisesti. Tämän jälkeen halkaisijat voidaan kirjoittaa ruudulle, ja lähettää logiikalle Transfer -valinnalla.

Oikeiden lähtöhalkaisijoiden syöttö on tärkeää, sillä käytöille laskettavat pyörimisnopeusohjeet riippuvat halkaisijoista. Väärät halkaisijat voivat aiheuttaa radan löystymistä.



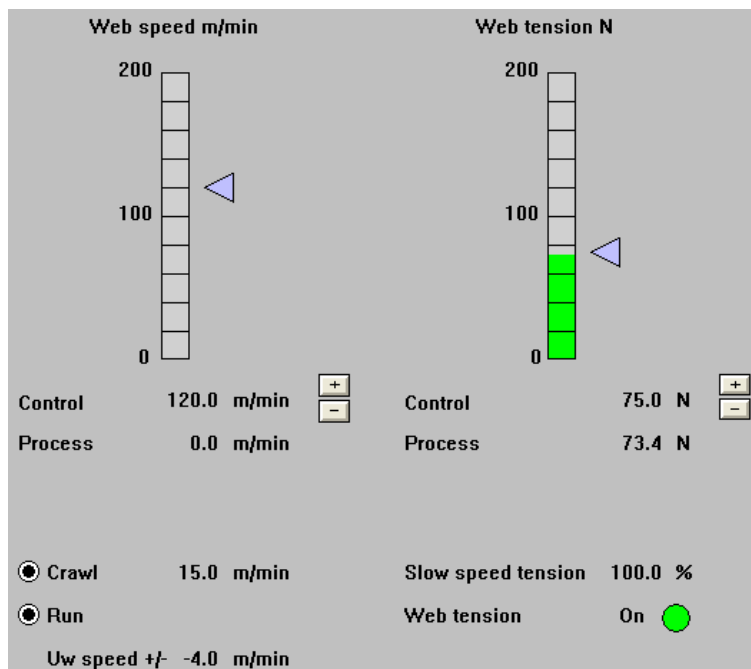
**Kuva 22.** Halkaisijoiden asetus.

### 5.2.4 Ohjearvot

Ennen käynnistystä tulee ohjelmalle antaa seuraavat asetusarvot:

- ryömintänopeus (crawl)
- ajonopeus (web speed)
- aukirullaimen nopeuden poikkeutus (Uw speed +/-)
- ratakireys (Web tension)
- hitaan nopeuden kireys (Slow speed tension)

Ryömintänopeus määrää ratanopeuden, millä kiinnirullain pyörii ryöminnän ollessa valittuna. Aukirullaimen nopeuden poikkeutuksella saadaan aukirullain pyörimään kiinnirullainta hitaammalla nopeudella. Ajonopeus määrää ratanopeuden, kun ajo on valittuna. Ratakireysohjeella määrätään haluttu ratakireys. Mikäli halutaan käyttää hitaalla nopeudella (alle 30 m/min) pienempää ratakireyttä, voidaan sille antaa ohjearvo prosentteina normaalista ratakireydestä valinnalla "Slow speed tension". Esimerkki ohjearvojen asetuksista kuvassa 23.



**Kuva 23.** Ohjearvot

### 5.2.5 Käynnistys

Kun ratanopeuden ja ratakireyden ohjearvot on asetettu, voidaan rullain käynnistää ryöminnälle Crawl –valinnalla. Kiinnirullain nostaa ratanopeuden ryöminnän asetusarvoon. Mikäli aukirullaimelle on annettu negatiivinen nopeuden poikkeutus, alkaa järjestelmä kasvattaa ratakireyttä. Kun ratakiveys saavuttaa 60% asetusarvosta (mikäli hitaalle nopeudelle on syötetty pienempi ratakiveys, käytetään tätä asetusarvoa), syttyy merkkivalo ”Web tension”, ja aukirullain siirtyy momenttisäädölle. Tällöin myös ratakireyden säätäjä ryhtyy säätämään kireyden korjaustermiä.

Kun ratakireyden merkkivalo syttyy, voidaan valita rullaimelle ajotila Run –valinnalla. Ohjelma lähtee nostamaan ratanopeusohjetta parametreista asetellun kiihdytysajan mukaisella rampilla kohti ratanopeuden asetusarvoa. Kiinnirullaimen käytölle lasketaan pyörimisnopeusohje jakamalla ratanopeusohje kiinnirullaimen halkaisijalla.

### 5.2.6 Autostop

Rullain voidaan asettaa pysähtymään haluttuun tilanteeseen joko halkaisijan tai nauhan pituuden mukaan ns. autostop-toiminnolla. Valvomosta voidaan syöttää pysäytyshalkaisija ja –pituus sekä aukirullaimelle että kiinnirullaimelle. Ohjelma laskee lisäksi kaikkiin valintoihin pysäytysennakon, jotta rullain pysähtyisi mahdollisimman tarkasti haluttuun tilanteeseen. Halutut autostop-valinnat tulee aktivoida ruksaamalla ympyrä auki- tai kiinnirullaimen tekstin edessä, ja syöttämällä kenttään haluttu halkaisija tai pituus. Merkkivalo vilkkuu, kun jokin asetus saavutetaan. Kuvassa 24 esitetty esimerkkiasetukset autostop –toiminnolle.

Valittavien pysäytysmittojen lisäksi ohjelmassa on pakotetut pysäytystoiminnot halkaisijoille, estämässä radan tahaton läpiajo. Mikäli yhtään autostop-valintaa ei ole aktivoitu, tai niitä ei saavuteta, pakotettu pysäytystoiminto pysäyttää rullaimen pysäytysennakkoa käyttäen aseteltuun minimi- tai maksimihalkaisijaan.

<input checked="" type="radio"/>	<b>Autostop</b>	
<b>Diameter</b>		
<input type="radio"/>	Unwinder	0.200 m
<input type="radio"/>	Winder	0.000 m
<b>Length</b>		
<input type="radio"/>	Unwinder	0.0 m
<input type="radio"/>	Winder	0.0 m

**Kuva 24.** Autostop –toiminnon asetusarvot.

### 5.2.7 Pysähtyminen

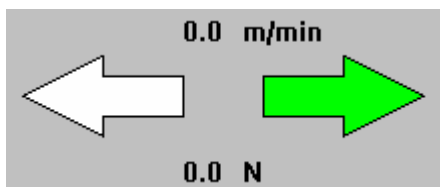
Kun autostop-toiminto aktivoituu, tai rullaimelle syötetään ratanopeudeksi 0m/min, ohjelma tiputtaa ratanopeusohjeen kiihdytysajan mukaisella rampilla nolnaan. Kun nollanopeus on saavutettu, aukirullain jää ylläpitämään aseteltua ratakireyttä tai hitaan nopeuden kireyttä. Mikäli nauhaa on vielä jäljellä, voidaan ajoa jatkaa muuttamalla autostop-parametreja, tai nostamalla ratanopeutta, mikäli pysäytys on tehty sitä säätämällä.

### 5.2.8 Käyttöjen sammutus

Kun rullain on pysähtyneenä, voidaan käytöt sammuttaa poistamalla valinnat Crawl ja Run -kohdista. Tällöin ylläpidetty ratakireys vapautetaan, ja uusi käynnistys täytyy tehdä kohdan 5.2.5 mukaan.

### 5.2.9 Suunnanvaihto

Rullaussuunta valitaan valvomosta kuvan 25 nuolipainikkeista. Ohjauspulpetista täytyy lisäksi valita, kumpaa ratanopeusanturia käytetään kääntämällä kuvan 26 kytkin oikeaan asentoon. Kun rataa rullataan vasemmalta oikealle, tulee kytkimen olla asennossa 1. Vastaavasti rullattaessa oikealta vasemmalle, kytkimen tulee olla asennossa 2.



**Kuva 25.** Ajosuunnan valinta InTouchissa.



**Kuva 26.** Paneelin kytkin, jonka asento tulee vastata käytössä olevaa ajosuuntaa.

## **LÄHDELUETTELO**

/1/ Paperiradan kireyden hallinta monimoottorikäytössä, diplomityö

/3/ Siemens S7-300 Yksikkötiedot-Referenssikäsikirja

/2/ Vacon PROFIBUS DP –OPTIOKORTTI, KÄYTTÄJÄN KÄSIKIRJA,  
UD01142A



