

Jukka Rintamäki

Harjalaitteen ohjausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus

Opinnäytetyö

Syksy 2010

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Koneautomaatio



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö
Koulutusohjelma: Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Jukka Rintamäki

Työn nimi: Harjalaitteen ohjausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus

Ohjaaja: Niko Ristimäki

Vuosi: 2010 Sivumäärä: 47 Liitteiden lukumäärä: 3

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa Memar Oy:n tuotantoon valmistettavan harjalaitteen ohjausjärjestelmä. Ohjausjärjestelmän suunnitteluun kuului liikkeenohjaustavan valinta, komponenttien valinta, logiikkaohjelmointi, laitteen sähkösuunnittelu ja käytännön toteutus. Toisena tavoitteena oli saada tietoa uuden koneasetuksen vaatimuksista koneturvallisuuden suhteen.

Työn tuloksena saatiin toteutettua harjalaitteeseen ohjausjärjestelmä, jonka avulla akseliliikkeiden pituutta oli vaivatonta muuttaa ruuvien koon muuttuessa. Työn aikana saatiin luotua harjalaitteen riskinarviointi ja yrityksen tietämys koneturvallisuusasioista lisääntyi.

Laitteen testaus suoritettiin kesän 2010 aikana ja laitteen todettiin täyttävän sille asetetut vaatimukset. Laitteen testausta jatketaan vielä syksyn aikana, jolloin harjausliikkeitä säädetään optimaalisen harjaustuloksen saavuttamiseksi. Laite on tarkoitus ottaa tuotantokäyttöön Virroilla vielä vuoden 2010 aikana.

Työn sivutuotteena saatiin lisäksi suomenkielinen ohjeistus servo-ohjaimen parametroidista.

Asiasanat: ohjausjärjestelmät, parametrit, servotekniikka, sähkösuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS ABSTRACT

Faculty: School Of Technology
Degree programme: Automation Technology
Specialisation: Machine Automation

Author: Jukka Rintamäki

Title of the thesis: Designing of a Control System to Brushing Machines

Tutor: Niko Ristimäki

Year: 2010 Number of pages: 47 Number of appendices: 3

The objective of this thesis was to plan and realise the control system of a brushing machine which is to be made for the Memar Oy. The planning of the control system included the choice of the motion control system, the choice of the components, plc programming, the electric planning of the device and its implementation. Another goal was to collect information about the requirements of the Machine Directive 2006/42/EC.

The result of the project was the implementation of the control system which enabled us to change the length of the axis motions whenever the size of the screws changed. Also, the risk assessment of the brushing machines was made and the know-how of the company concerning machine safety widened.

The testing of the device was accomplished during the summer of 2010 and the device was found to meet the requirements. The testing will continue in the autumn when the brushing movements are adjusted to gain the optimal result. The device is to be in production in Virrat by the end of this year.

Finnish directions of the configuration parameters for the servo drive were developed as a by-product of the project.

Keywords: control systems, parameters, servo technique, electrical design

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLTÖ

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO	7
1.1	Työn tausta	7
1.2	Työn tavoitteet ja rajaukset	8
1.3	Työn rakenne	8
1.4	Yritysesittely	9
2	LAITTEEN SUUNNITTELU	10
2.1	Ohjaustavan valinta.....	10
2.2	Servo-ohjauksen toimittajan valinta.....	11
3	OHJAUSJÄRJESTELMÄN RAKENTAMINEN.....	14
3.1	Toimintakuvaus.....	14
3.2	Työn ongelmat	16
3.3	Turvallisuusmäärittely	16
3.4	I/O-määrittely.....	17
4	LAITTEISTO	19
4.1	Logiikkayksikkö	19
4.2	Logiikan jännitesyöttö 24VDC	20
4.3	Servomootorit.....	20
4.4	Servo-ohjain.....	21
4.5	Taajuusmuuttaja.....	21
4.6	Käyttöliittymä.....	22
4.7	Turvarele	25
4.8	Valoanturi.....	25
4.9	Sähkösuunnittelu.....	26

5	JÄRJESTELMÄN PARAMETRIEN ASETUS JA OHJELMOINTI...	28
5.1	Parametrien asetus	28
	Servojen parametointi	28
5.2	Taajuusmuuttajan parametointi.....	35
5.3	Logiikkaohjelma	36
	Alkutoiminnot.....	37
	Käsiäjo	38
	Automaattiajo	38
	Hälytykset	38
6	KONETURVALLISUUS.....	39
6.1	Vaaratekijöiden arviointi ja riskikartoitus	40
	Riskikartoitus.....	40
	Turvallisuustoimenpiteiden suunnittelu	41
6.2	Tarkastuspöytäkirjat.....	42
7	TULOKSIA JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ.....	43
8	YHTEENVETO.....	44
	LÄHTEET	45
	LIITTEET	47

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

DVI	Digital Visual Interface tai Digital Video Interface, Digitaalisen videon siirtoon tarkoitettu liitin
EtherCAT	Ethernet for Control Automation Technology, Beckhoff Automation Oy:n kehittämä teollisuuden Ethernet-versio
FBD	Function Block Diagram, toimilohkokaavio.
IL	Instruction List, käskylista.
LD	Ladder Diagram, relekaavio, tikapuukaavio.
Pinoli	Sorvin kärkipylkästä esiin työntyvä kara, jossa on yleensä vapaasti pyörivä kärki kappaleen tukemiseksi.
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka.
SFC	Sequential Flow Chart, sekvenssikaavio.
ST	Structured Text, rakenteellinen tai strukturoitu teksti.
Valssaus	Kierteen valmistustapa, jossa kierre valmistetaan puristamalla aihiota kahden pyörivän valssausrullan välissä.

(Strömman 2002. 60-62; Fonselius ym. 2007. 224)

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Memar Oy on metalliteollisuuden sopimusvalmistaja, joka valmistaa kiinnitystarvikkeita metalliteollisuuden käyttötarpeisiin (Koivusalo, 2008).

Yksi tuoteryhmä kiinnitystarvikkeista on vaarnaruuvit. Vaarnaruuvit ovat ruuveja, joiden molemmissa päissä on kierreosa. Ruuvien keskiosan halkaisija on yleensä ohuempi kuin päiden kierreosien halkaisijat (Koivusalo, 2008.)



Kuva 1. Vaarnaruuveja

Vaarnaruuvien valmistuksessa ruuvien kierreosa valmistetaan valssaamalla, joka tapahtuu puristamalla ruuviahiota valssausrullien välissä. Tällä valmistusmenetelmällä kierteestä saadaan lujempi verrattuna sorvaamalla valmistettuun kierteseen. Kyseisestä valmistustavasta ja käytettävän materiaalin suuresta murtolujuudesta johtuen jää kierreosaan valssauksen jäljiltä metallitikkuja.

Syntyneet metallitikut poistetaan harjaamalla kierreosaa nylon-harjalla. Harjaus suoritetaan täysin käsityönä. Harjauksessa työntekijä painaa ruuvin kierreosaa sähkömoottorilla pyöritettävää harjaa vasten ja poistaa tällä tavoin ruuvissa olevat metallitikut. Molemmat päät puhdistetaan erikseen. Osa ruuveista on hyvin kookkaita ja painavia. Käsityönä tehty harjaus on hidasta, yksitoikkoista ja kuormittavaa.

Yrityksen sisällä pohdittiin ajatusta, kuinka ruuvien harjaus automatisoitaisiin? Onko mahdollista vähentää työn kuormitusta automatisoinnin avulla ja voidaanko koneellisesti harjata useita ruuveja peräkkäin käyttämällä syöttölaitetta?

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää millainen ohjausjärjestelmä soveltuisi parhaiten harjalaitteen liikkeenohjaukseen, ja valita laitteen vaatimat komponentit liikkeenohjauksen toteuttamiseksi. Työn toisena tavoitteena oli lisätä yrityksen tietämystä sähköisestä servo-ohjauksesta ja sen ohjelmoinnista sekä toteutuksesta. Kolmantena tavoitteena oli saada tietoa uuden koneasetuksen vaatimuksista koneturvallisuuden suhteen. Saatua tietoa hyödyntäen voitiin turvallisuusvaatimukset ottaa huomioon koneen suunnittelussa.

Työn ulkopuolelle on rajattu laitteen mekaaninen suunnittelu, ruuvien vaihtotapah-tuma ja kohdistaminen laitteessa. Kyseisiä aiheita käsitellään yksityiskohtaisemmin Jukka Koivusalon tekemässä opinnäytetyössä.

1.3 Työn rakenne

Ensimmäisessä luvussa perehdytään työn taustatietoihin. Toisessa luvussa kerrotaan laitteen suunnittelusta. Kolmannessa luvussa käsitellään ohjausjärjestelmän rakentamista. Neljännessä luvussa kerrotaan laitteiston kokoonpanosta. Viidennessä luvussa kerrotaan laitteiston parametroidista ja ohjelmoinnista. Kuuden-

nessa luvussa kerrotaan koneturvallisuudesta. Seitsemännessä luvussa kerrotaan tuloksista ja johtopäätöksistä. Kahdeksannessa luvussa on yhteenveto.

1.4 Yritysesittely

Memar Oy on metallialan sopimusvalmistaja, joka on erikoistunut teollisuuden kiinnitystarvikkeisiin ja kunnossapito-osiin. Yrityksellä on toimintaa neljällä eri paikkakunnalla Virroilla, Seinäjoella, Toijalassa ja Pirkkalassa. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Virroilla. Virtain yksikkö on erikoistunut ruuvien ja akselien valmistukseen. Seinäjoen tuotanto koostuu työstökeskuksilla tehtävään koneistukseen ja laitteiden valmistukseen. Toijalassa taotaan akseleita ja pienempiä muottitakeita sekä osittain myös koneistusta. Pirkkalaan on keskitetty suurempi muottitaonta ja lämpökäsittely. (Memar Oy 2009, 11.)

2 LAITTEEN SUUNNITTELU

Harjausliikkeiden suorittamista varten laitteeseen kehitetään ohjausjärjestelmä, joka liikuttaa harjaa pyörittävää moottoria ruuvin pituussuuntaan nähden kohtisuorassa (Y-akseli). Lisäksi se liikuttaa harjattavaa ruuvia ruuvin pituussuunnassa eli harjaan nähden kohtisuorassa (X-akseli). Liikkeet mahdollistavat täten molempien kierreosien harjauksen. Ohjausjärjestelmän valintaa suunniteltaessa otetaan huomioon mahdollisuus muuttaa harjausliikkeiden pituutta. Liikepituuden muutoksen vaatima asetus aika ei saa muodostua kohtuuttoman pitkäksi.

2.1 Ohjaustavan valinta

Hydrauliikkaohjauksen valintaa pohdittaessa todettiin hydrauliikkajärjestelmän epätarkkuuden olevan merkittävä este valinnalle. Epätarkkuus lisää merkittävästi kustannuksia, koska sen vaatimat takaisinkytkennän anturit ja ohjausventtiilit ovat hintavia. Anturien vikaantumisriski ja hydrauliikkavuodot lisäävät järjestelmän epätarkkuutta (Fonselius, Rinkinen & Vilenius 1998, 83-84.)

Hydrauliikkajärjestelmän vaatima suurempi liityntäteho ja suurempi energiankulutus verrattuna sähköservo-ohjauksella toteutettuun järjestelmään tekee siitä energiataloudellisesti huonomman vaihtoehdon (Laurinen 2007, 40-41).

Paineilmaohjauksella on vaikeaa toteuttaa samanaikaisesti suurta liikenopeutta ja tarkkaa asemointia. Paineilmaohjaus on käytännöllinen siirrettäessä kevyitä kappaleita. (Fonselius, Korhonen, Saarineva & Pekkola 1994, 158-162.) Paineilmaohjauksella epätarkkuus ja tarkkuuden lisäämiseksi vaadittavat takaisinkytkentäventtiilit nostaisivat järjestelmän hinnan liian suureksi verrattuna esimerkiksi sähköservo-ohjaukseen. Paineilmaohjauksella toteutetussa järjestelmässä liikepituuden muutos olisi vaatinut antureiden paikan siirtoa aina ruuvien kokojen muuttuessa. Tästä johtuen asetus aika olisi muodostunut liian pitkäksi.

Laitteen ohjaustavaksi valitaan sähköservo-ohjaus, koska tärkeimmiksi ohjausjärjestelmän valintakriteeriksi muodostuivat paikoitustarkkuus ja pieni asetus aika akselien liikepituuksien muuttamiseksi ruuvien koon muuttuessa. Sähköservo-ohjauksen suuri tarkkuus perustuu jatkuvaan takaisinkytkentään (Keinänen, Kärkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007, 157). Sähköservo-ohjauksen eduksi voidaan lukea myös liikenopeus ja hyvä vääntömomentti harjauksen eri akseliliikkeissä. Servo-ohjausta käyttämällä on mahdollista säätää harjauksen tehokkuutta momenttirajan avulla, mikäli se olisi tarpeellista esimerkiksi parantamaan harjaustulosta (Fonselius ym 1998, 155-156; Lepistö 2008a).

Koska paikkatiedon säilyminen joka tilanteessa ei kuulunut vaatimukseen, järjestelmässä ei tarvinnut käyttää absoluuttista paikkatietoa, vaan paikkatiedon palauttamisessa voitiin käyttää tapaa ajaa akselit referenssipisteeseen. Näin voitiin toimia paikkatiedon kadottua, esimerkiksi sähkökatkon jälkeen.

Sähköservo-ohjauksen valintaa puoltaa myös se, että yrityksen sisälle haluttiin tietoa sähköservo-ohjauksesta. Tämän valinnan mukana saatavaa tietoa hyödynnettiin oppimistarkoituksessa.

2.2 Servo-ohjauksen toimittajan valinta

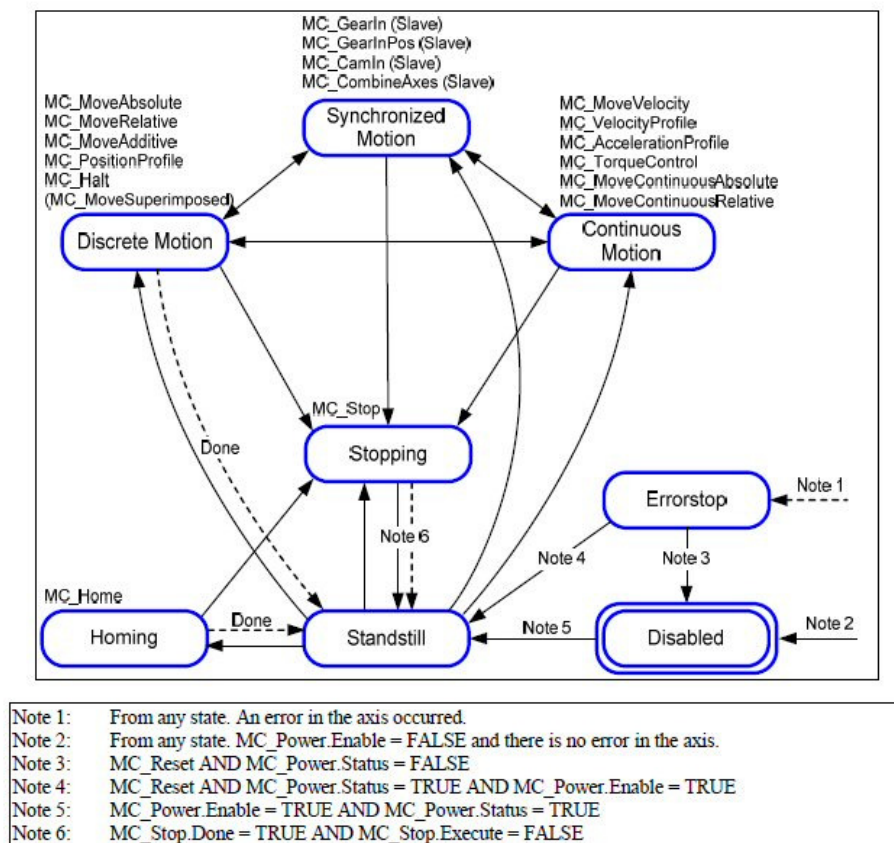
Servo-ohjauksen toimittajaa valittaessa ohjauksen toteutustapaa tutkittiin aluksi Omron Electronics Oy:n (myöhemmin Omron) CX-One Programmer -ohjelmiston avulla, koska yrityksessä oli jo hankittuna kyseinen ohjelmistoympäristö. Hankittua ohjelmistoa voitiin hyödyntää tutkimisessa eikä lisäinvestointia siltä osin tarvittu. Jukka Koivusalo oli pyytännyt Omronilta alustavan tarjouksen komponenteista servo-ohjauksen toteuttamista varten.

CX-One Programmer -ohjelmistolla liikkeenohjaus toteutetaan käyttämällä Omronin omia liikkeenohjausfunktioita. Funktioiden käyttötapaa ja toteutus täytyi selvittää ohjelmistoympäristön ohjetiedostoista ja Omronin koulutusmateriaaleista (Paavola, 2004; Paavola, 2007.) Ohjelmointityön testausta vaikeutti simulointimahdollisuus-

den puuttuminen. Liikkeenohjausta oli mahdotonta testata ilman fyysistä kytkentää laitteisiin.

Tutkittaessa muita vaihtoehtoisia toteutustapoja tutustuttiin Beckhoff Automation Oy:n (myöhemmin Beckhoff) tapaan toteuttaa liikkeenohjaus TwinCAT-ohjelmointiympäristönsä avulla.

TwinCAT-ohjelmisto käyttää liikkeenohjauksen toteuttamiseen IEC 61131 standardin mukaisia liikkeenohjausfunktioita, joiden toiminnasta ja toteutuksesta löytyy ohjeistusta mm. PLCopen-sivustolta, kuten kuvan 2 esimerkkikaavio osoittaa.



Kuva 2. Liikkeenohjausfunktioita (PLCopen 2008)

TwinCAT-ohjelmiston avulla on mahdollista liittää logiikkaohjelma virtuaaliakseleihin ja tällä tavoin ohjelman akseliliikkeitä voitiin testata simuloimalla niiden liikera-toja ilman fyysistä kytkentää laitteistoon. Akseleiden paikkatietoja ja nopeuksia

voidaan seurata simuloinnin aikana graafisesti TwinCAT-ohjelmistoon sisältyvän Scope View -monitorointiohjelman avulla. Scope View -ohjelmistolla voidaan muuttujien arvoa monitoroida joko ajan funktiona tai XY-tasossa. (Beckhoff 2008.)

Beckhoffilta pyydettiin tarjous laitteistosta servo-ohjausta varten. Tarjouspyyntöön valittiin vastaavat komponentit kuin Omron Oy:n aiemmin tarjoamassa kokoonpanossa.

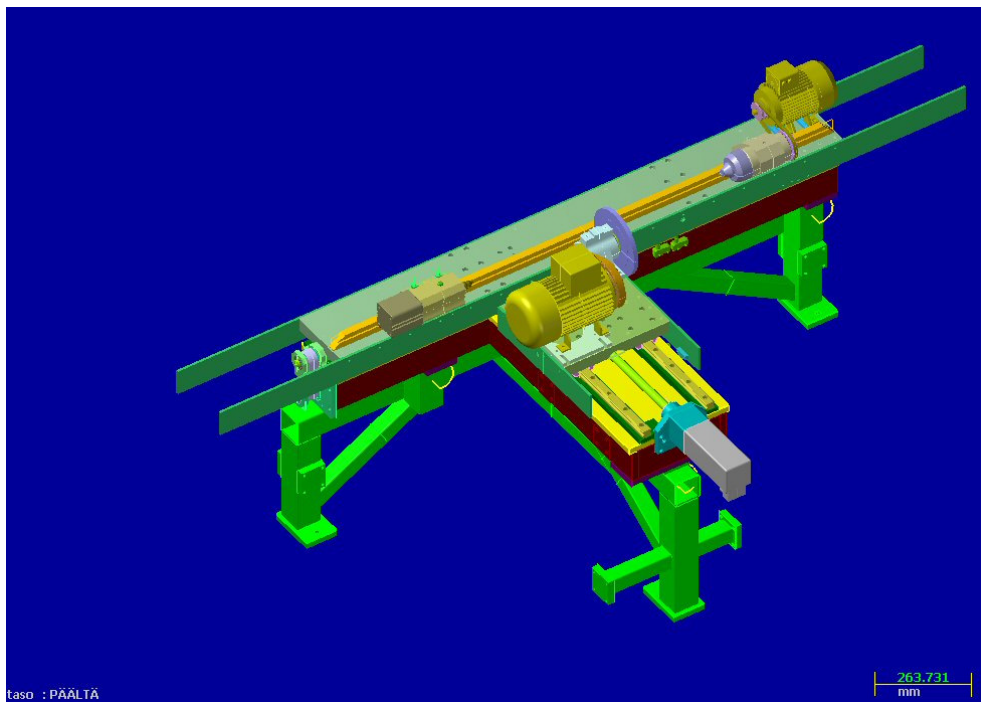
Hintavertailussa Beckhoffin tarjous osoittautui oleellisesti Omronin tarjousta edullisemmaksi. Toinen merkittävä valinnan peruste on mahdollisuus testata liikkeenohjauksen toimintaa simuloinnin avulla ilman laitteita. Tämä tapa mahdollistaa logiikkaohjelman kehittämisen ilman kytkentää laitteistoon.

3 OHJAUSJÄRJESTELMÄN RAKENTAMINEN

3.1 Toimintakuvaus

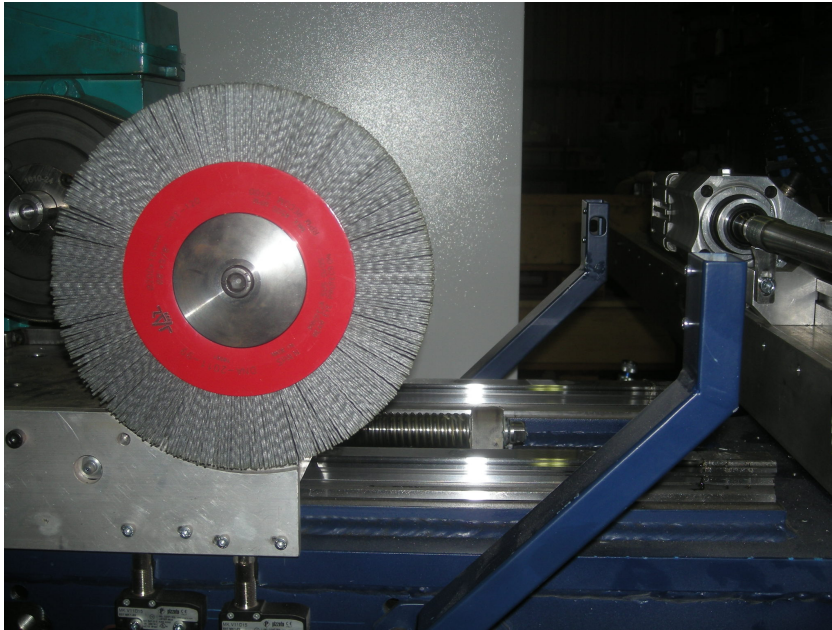
Koneen mekaaniset liikealueet määriteltiin suurimman ruuvin koon mukaan siten, että liikealue on X-suunnassa n. 820 mm. Y-suunnan liikealue on n. 270 mm. Akselien liikkeet toteutettiin servo-ohjauksella siten, että servomoottorin pyörittämä kuularuuvi välitti pyörimisliikkeen kuulamutterin kautta lineaariliikkeeksi.

Kappale pyörii X-akselilla pinolin kärkien välissä. Pinolissa on vetokärki, jota pyörittää 0,43 kW:n 3-vaihemoottori. Pinolin kärjen liikuttaminen hoidettiin paineilmasylinterin avulla. Ruuvien päädyissä on keskiöreiät. Näiden reikien ansiosta ruuvi pysyy pinolin kärkien välissä. Keskitysreikien avulla hoidetaan myös ruuvin keskittäminen.



Kuva 3. Harjalaitteen kuva (Koivusalo 2009)

Harjauksen toimittaa Y-akselilla pyörivä nylon-harja, jota pyörittää taajuusmuuttajalla ohjattu 1.5 kW:n 3-vaihemoottori. Harjauksessa tapahtuva harjan kulumisen vaikutus pyritään eliminoimaan siten, että Y-akselin paikka tunnustetaan valoanturin avulla harjan reunan katkaistessa valoanturin säteen. Anturin sijainnin ja Y-akselin paikkatiedon avulla voidaan saada selville Y-akselin liikkeen pituus ruuvin keskipisteeseen.



Kuva 4. Harjan kulumisen tunnistus

Koneen työkierto käynnistyy koneen käyttäjän painaessa kosketusnäytön tai ohjauspulpetin kannessa olevaa käynnistuspainiketta.

Koneen harjaustyökierto on seuraava:

- pinolin kärki ulos (ruuvi kiinnittyy kärkien väliin),
- pinolin vetokärjen pyöriminen käynnistyy (ruuvi pyörii kärkien välissä),
- harjan pyöriminen käynnistyy,
- harja etenee mittauspisteelle (eliminoidaan harjan kulumisen),
- harja etenee kierteelle
- suoritetaan ensimmäisen kierteen harjaus
- harja irti kierteeltä,
- siirtyminen toiselle kierteelle,

- kierteen harjaus,
- siirtyminen alkuasemaan,
- pinolin vetokärki ja harja pysähtyvät,
- pinolin kärki sisään (ruuvi irtoaa ja putoaa prismapalojen päälle).

3.2 Työn ongelmat

Työn suurimmat ongelmat johtuivat siitä, että servo-ohjaukseen liittyviä asioita käsiteltiin vasta opiskelun loppuvaiheessa, eikä opiskelun myötä saatua tietoa voitu niiltä osin hyödyntää. Servo-ohjaukseen liittyvä tieto täytyi pääosin selvittää oma-toimisesti työn ohessa. Asioiden perinpohjainen selvittely toi kuitenkin mukanaan tietoa, jota pystyi hyödyntämään opiskelun loppuvaiheessa ja myöhemmin työelämässä.

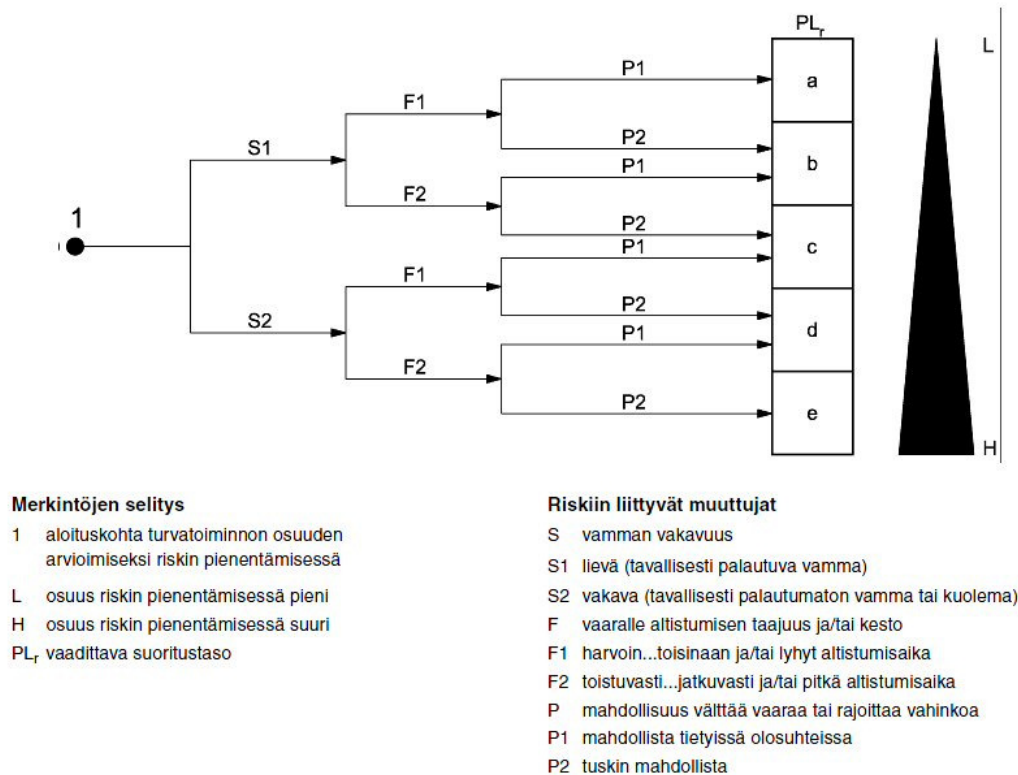
Servo-ohjaukseen liittyvien ohjelmaesimerkkien ja ohjeiden vähäisyys yllätti. Löydetyt ohjeet ja esimerkit vaativat paljon pohjatietoa käytettävistä liikkeenohjaus-funktioista ja -menetelmistä ennen kuin niitä pystyttiin hyödyntämään. Laitetoimit-tajien antama tuki oli suunnittelun alkuvaiheessa ensiarvoisen tärkeää.

Koneturvallisuuden osalta aiheeseen liittyvien direktiivien, lakien ja asetusten sekä standardien suuri määrä lisäsi selvitystyön määrää suunnattomasti.

3.3 Turvallisuusmäärittely

Koneen turvallisuusmäärittelyssä käytettiin standardin SFS-EN ISO 13849-1 mu-kaista kaaviota, jonka avulla otetaan huomioon vamman tai terveyshaitan vaka-vuus sekä vamman tai terveyshaitan esiintymistodennäköisyys.

Kaavion antaman turvatason perusteella voitiin määritellä Hätäseis-piirin vaatima turvareleen taso.



Kuva 5. Turvallisuusmäärittelyn tason arviointi (SFS-EN ISO 13849-1)

Turvallisuusmäärittelyn arviointi aloitettiin vamman vakavuuden arvioinnilla. Laitteiston ruuvien liikuttelun ja vaihtoliikkeiden aiheuttamat voimat ja nopeudet todettiin niin alhaisiksi, että niiden aiheuttamat vammat olivat vain vähäisiä. Harjaustilanteen akseliliikkeiden aiheuttamat vaaratilanteet oli eliminoitu suojaamalla kuularuuvit kotelon sisään sekä estämällä käyttäjän pääsy vaara-alueelle. Tästä johtuen oli mahdollista valita järjestelmän Hätäseis-piiriin S1-luokan turvarele.

3.4 I/O-määrittely

Laitteen I/O-listan määrittely perustui mekaniikkasuunnittelun aikana todettuihin erilaisten raja- ja lähestymiskytkinten sekä tunnistimien käyttöön. Näitä raja- ja lähestymiskytkimiä sekä tunnistimia käytettiin tunnistamaan liikkeiden ääriarvoja ja toteamaan tiettyjen tapahtumajaksojen toteutumista.

I/O-lista sisältää ainoastaan liikkeenohjauksen liittyvät tulot ja lähdöt, eikä se sisällä kappaleen vaihtoliikkeeseen liittyviä tuloja ja lähtöjä.

Tulolista. Laitteen äärirajojen tunnistimena käytetyistä raja- ja lähestymiskytkimistä sekä tunnistimista muodostettiin lista, joka koostui seuraavista tuloista

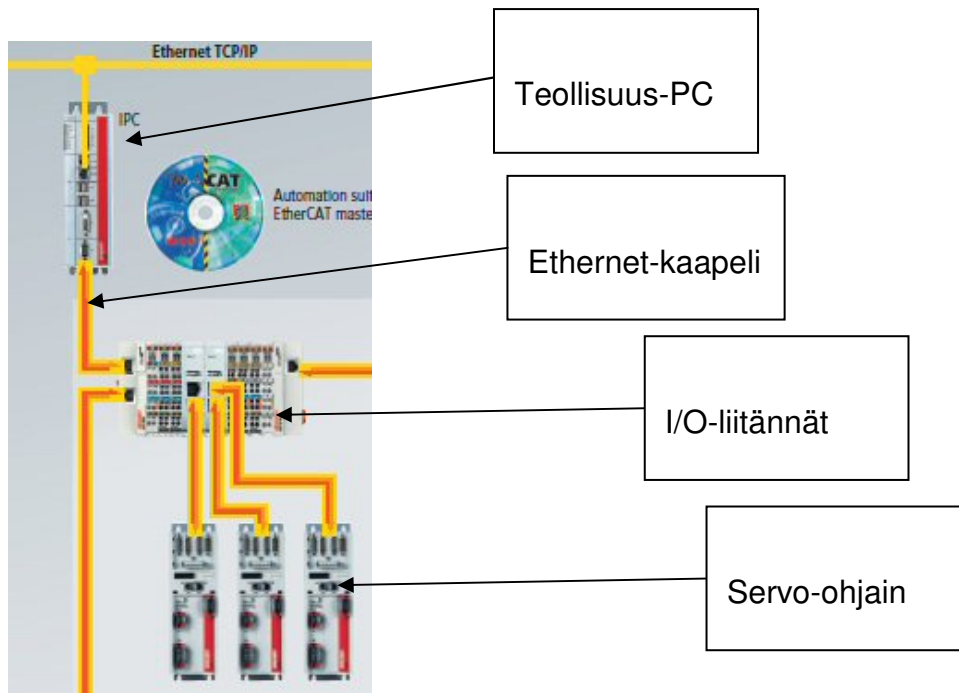
- X-oikea raja
- X-vasen raja
- Y-takaraja
- Y-eturaja
- X-referenssi
- Y-referenssi
- harjan mittauspiste Y
- pinoli ulkona
- pinoli sisällä
- kappaleen tunnistus
- Hätäseis
- Start
- Stop

Lähtölista. Harjausliikkeiden aikana ohjattavia toimilaitteita ja toimintoja olivat

- X-servo
- Y- servo
- pinolimoottori
- harjamoottori normaalinopeus
- harjamoottori hidas nopeus
- pinolisylinteri eteen
- pinolisylinteri taakse

4 LAITTEISTO

Logiikan ohjausyksikkö sisälsi teollisuus-PC:n virtalähteineen ja I/O-liitäntöineen. Ohjausyksikkö yhdistettiin EtherCAT-väylän kautta servo-ohjaimiin ja I/O-liitäntöihin. Kosketusnäyttö yhdistettiin ohjauspaneeliin DVI-liitännän kautta (Digital Video Interface).



Kuva 6. Laitteistoarkkitehtuuri (Beckhoff 2010b)

4.1 Logiikkayksikkö

Beckhoffin logiikan ohjausyksikkö eli PLC (Programmable Logic Controller) on tietokoneessa suoritettava ohjelmallinen logiikka, joka suorittaa reaaliaikaista logiikkaohjelmaa ns. tietokoneen suojatussa tilassa. Tällöin logiikkaohjelman suoritus ei ole riippuvainen tietokoneessa olevista muista ohjelmista tai käyttöjärjestelmän tilasta, vaan logiikkaohjelma jatkaa toimintaansa vaikka käyttöjärjestelmä menisi epävakaiseen tilaan. Tällaista logiikkaa kutsutaan nimellä Soft-PLC. (Keinänen ym. 2007, 212-213.)

Logiikan ohjausyksikkönä on teollisuus-PC CX1010-0112 varustettuna virtalähteyksiköllä CX1100-004, kahdella tuloyksiköllä EL 1008 ja kahdella lähtöyksiköllä EL 2008.

CX1010-0112 teollisuus-PC sisältää 500 MHz:n Pentium MMX-prosessorin, joka takaa riittävän lyhyen PLC:n kiertajan, mikä on tärkeä vaatimus käytettäessä PC:tä servo-ohjauksen toteuttamiseen. Pc on varustettuna lisäksi DVI-, USB- ja Ethernet-liitännöillä sekä Microsoft Windows CE-käyttöjärjestelmällä ja liikkeenohjausta varten tarvittavalla TwinCAT NC PTP-ohjelmistolla. (Beckhoff 2010b, 278-281).

Kappaleen vaihtoliikkeen aiheuttamien lisätulojen takia laitteeseen hankittiin myöhemmin lisää kaksi tuloyksikköä.

4.2 Logiikan jännitesyöttö 24VDC

Logiikan ja antureiden sekä ohjausreleiden vaatima jännitesyöttö toteutettiin kytkemällä 3-vaiheisen syöttöjännitteen yksi vaihe muuntajalla erotettuun hakkuri-teholähteeseen. Teholähde mitoitettiin siten, että sen antama teho oli riittävä ohjaamaan logiikkayksikköä ja sen I/O-yksiköjä sekä servo-ohjaimen tasajännitesyöttöä.

Teholähteeksi valittiin Murr MPS5-230/24 teholähde, joka kykenee tuottamaan 5A jatkuvaa virtaa 24 V:n tasajännitteellä.

4.3 Servomoottorit

Servomoottorien vaatimien ominaisuuksien määrittely oli toteutettu mekaniikka-suunnittelun yhteydessä.

Servomoottoreiksi valittiin AM3044-1J00 -moottorit. Moottoreiden vääntömomentti

on 6 Nm, pyörimisnopeus 6000 kierrosta minuutissa.

4.4 Servo-ohjain

Servo-ohjaimen koko ja malli valittiin siten, että sen antama virta olisi riittävä ohjaamaan edellä mainittuja moottoreita.

Servo-ohjaimeksi valittiin AX5206-B110-0000, joka on 2-kanavainen servo-ohjainyksikkö ja sen virta kanavaa kohti on 9 A ja suhteellinen maksimivirta 13 A (Beckhoff 2010a.)

4.5 Taajuusmuuttaja

Harjamoottorin pyörimisnopeuden säätöä varten laitteeseen vaadittiin taajuusmuuttaja, jolla voitiin toteuttaa nopeuden ohjausarvot kahdelle eri nopeudelle. Taajuusmuuttajan avulla oli myös vaivatonta säätää harjamoottorin kiihdytys- ja hidastusaikaa harjauksen alku- ja loppuvaiheessa. Taajuusmuuttajan hyötynä on, että sen avulla voidaan nopeuden muutos toteuttaa vääntömomentin oleellisesti muuttumatta (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2001, 147).

Taajuusmuuttajan valinnassa päädyttiin Vacon-merkkiseen taajuusmuuttajaan, koska niistä oli jo ennakkoon kokemukseräistä tietoa ja niiden ohjaus logiikan avulla oli yksinkertaisesti toteutettavissa. Muuttajaksi valittiin Vacon NXL 0004 5 -malli. Valinnan perusteena oli harjamoottorin koko 1,5 kW.

Nopeuksien ohjausarvojen käynnistäminen ja vaihtaminen toteutettiin logiikan lähtöjen avulla siten, että logiikan lähdöt ohjasivat 24V:n ohjausreleitä. Ohjausreleiden kytkimet ohjasivat puolestaan taajuusmuuttajan ohjausliitännän digitaalituloja I/O-riviliittimen kautta.

4.6 Käyttöliittymä

Laitteen käyttöliittymäksi valittiin kosketusnäyttö. Kosketusnäytön avulla oli mahdollista suunnitella erilaisia näkymiä erilaisia käyttötarpeita varten. Erilaisten näkymien ja toimintojen luominen samalle alueelle säästi tilaa ja täten välttyttiin lukuisten painikkeiden ja kytkinten lisäämiseltä ohjauskaapin kanteen.

Kosketusnäytön avulla oli mahdollista syöttää ja tallentaa erilaisten ruuvien mittatietoja. Ruuvien mittatiedot syötettiin taulukkoon. Taulukon tiedot tallennettiin loγιikkayksikön pysyvään muistiin, etteivät ne häviäisi virtakatkoksen aikana.

Ohjauspulpetin kanteen laitettiin lisäksi Start-, Stop-, Hätäseis- ja turvareleen kuitauspainikkeet sekä päävirtakytkin.

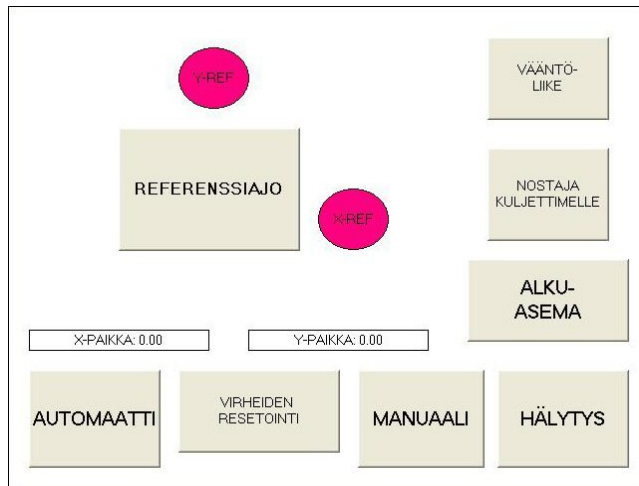
Kosketusnäyttö. Kosketusnäytöksi valittiin Beckhoffin CP6909-0001-0000 6,5-tuuman värinäyttö varustettuna kahdella USB-liitännällä sekä DVI-E-liitännällä näytön liittämiseksi ohjausyksikköön.

Kosketusnäytölle tehtiin 4 erilaista näkymää:

- aloitusnäkyvä,
- käsiajonäkyvä,
- automaattiajonäkyvä,
- hälytysnäkyvä.

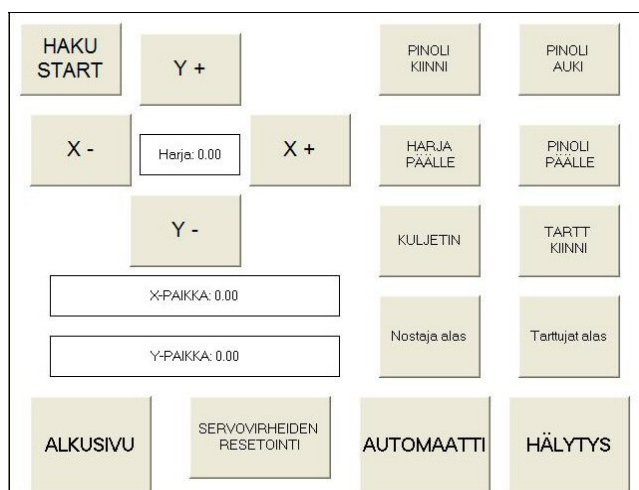
Kosketusnäytön käyttöliittymän suunnittelussa ja toteutuksessa käytettiin Twin-CAT-ohjelmointiympäristön mukana tulevaa Visualization-ohjelmaa.

Kosketusnäytön aloitusnäkyvässä suoritettiin virtakatkon tai käynnistyksen jälkeen vaadittava akseleiden referenssiajo, jossa kumpikin käyttöakseli ajetaan referenssirajalle. Referenssirajan paikkatieto saadaan kiinteästi asennetulta rajakytkimeltä. Aloitussivun yhteyteen lisättiin myös X- ja Y-akselien sekä kappaleen käsittelylaitteiden sylinterien ajaminen aloitusasemaan.



Kuva 7. Aloituskäyttö

Käsiäjoonäkymää käytetään akselien ohjaamiseen plus- ja miinus-suuntaan, harja- ja pinolimoottorin käynnistämiseen ja pysäyttämiseen sekä pinolisylinterin ohjaamiseen eteen ja taakse. Käsiäjoon lisättiin myös ruuvien käsittelyyn vaadittavan manipulaattorin sekä kuljettimen ohjaustoiminnot.



Kuva 8. Käsiäjoonäkymä

Automaattiajoon näkymää käytetään ruuvien mittojen lisäämiseen ja tallentamiseen ruuvitaulukkoon. Taulukkoon voitiin tallentaa ruuvien kokonaispituus, molempien kierreosien pituudet ja niiden halkaisijat sekä kierteiden välissä olevan akselin halkaisija. Automaattiajoon näkymän avulla suoritettiin kulloinkin harjattavan ruuvin valinta. Näkymässä sijaitsee myös automaattiajoon käynnistys- ja pysäytyspainikkeet.



Kuva 9. Kosketusnäytön automaattiajon näkymä

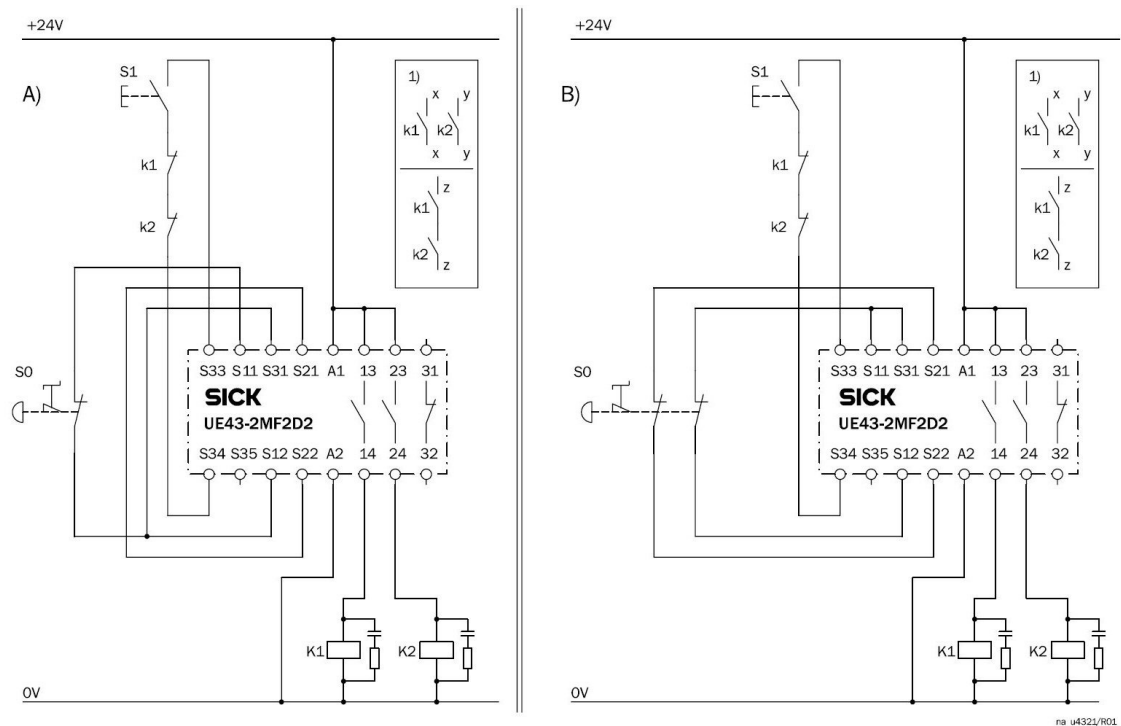
Hälytysnäkyssä tuotiin näkyviin laitteessa käytön aikana ilmenneet virheet ja virheen aiheuttaja sekä virheen syntymisaika. Näkymän hälytykset voitiin poistaa, kun hälytyksen aiheuttajaan oli ensin reagoitu joko poistamalla hälytyksen aiheuttaja tai korjaamalla hälytyksen syy muulla tavalla. Esimerkkeinä korjauksista voidaan mainita ruuvien lisäys kuljettimelle tai kuljettimen tyhjäys sen täyttyessä.

	AlarmTime	AlarmText
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

Kuva 10. Hälytysnäky

4.7 Turvarele

Turvallisuusmäärittelyssä Hätäseis-piirin turvareleen tasoksi määriteltiin 1-taso. Turvareleen malliksi valittiin Sick UE43-2MF2D2, joka on 1-tason rele ja sitä voidaan käyttää joko 1- tai 2-kanavaisena turvareleenä.



Kuva 11. Hätäseis-piirin esimerkkikytkentä (Andersson, 2009)

4.8 Valoanturi

Valoanturiksi valittiin Omronin lähetin- vastaanotinpari E3S-AT31. Valinnan perusteena olivat kyseisen anturin tunnistuskeilan leveys ja hyvät käyttökokemukset kyseisestä anturista. Lisäksi yrityksellä oli jo kyseinen anturi hankittuna, joten tunnistimen hankinta ei vaatinut lisäinvestointeja. Kyseisen valokennoparin tunnistusetaisyys on maksimissaan 7 m ja sitä voidaan käyttää joko avautuvana tai sulkeutuvana anturina. Anturissa on mahdollisuus säätää tunnistusherkkyyttä virheelisten tunnistusten minimoimiseksi. (Datasheet Archive, 2010.)

4.9 Sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelun lähtökohtina oli suunnitella laite voimassa olevien sähköturvallisuuksien mukaisesti. Sähköturvallisuuksien myötä laitteiston sähköisiä komponenttien määrää täytyi lisätä ottamaan huomioon erilaiset ylikuormitustilanteet ja laitteiston vaatima jäähdytys. Näiden vaatimusten johdosta laitteiston tilavaatimus kasvoi. Sähkösuunnittelun avulla voitiin mitoittaa sähkökaapin tai keskuksen tilantarve.

Sähkökaapin suunnittelun ja valinnan lähtökohtina oli saada tarpeeksi tilaa komponenttien sijoittelulle ja riittävä tila johdotuksille. Käyttöpainikkeiden ja kosketusnäytön sijoittelu sekä johdotusten vaatiman tilan huomioiminen antoi oman haasteensa sähkökaapin valintaa ajatellen.

Aluksi tarkoituksena oli sijoittaa pienisjännitteiset komponentit (<120V DC tai <50V AC), kuten käyttöpaneeli ja logiikan ohjausyksikkö sekä I/O-piirit samaan sähkökaappiin ja pienjännitteiset komponentit (yli 120V ja alle 1500V DC tai yli 50VAC ja alle 1000V AC) eri sähkökaappiin. Tällä tavoin hengenvaaralliset jännitteet olisi voitu viedä kauemmas käyttäjästä. Kuitenkin kahden eri sähkökaapin sijoittelu eri puolille laitetta olisi tuottanut turvallisuuden ja käytettävyyden kannalta paljon hankaluuksia sekä olisi vaatinut laitteeseen lisärakennelmia kaappien kiinnittämistä varten.

Edellä mainittujen ongelmien johdosta pohdittiin kaikkien komponenttien sijoittamista samaan sähkökaappiin. Komponenttien sijoittelua varten piirrettiin kaappiin tulevista laitteista layout-kuva (LIITE 1). Kuvan avulla voitiin määrittää kaapin koko. Vertailtaessa malliltaan erilaisia sähkökaappeja toimivimmaksi vaihtoehdoksi todettiin tilava ohjauspulpetti.

Ohjauspulpetissa yläosaan voitiin sijoittaa näyttöpaneeli, sekä ohjauspainikkeet. Kaapin alaosaan voitiin sijoittaa taajuusmuuttaja, servo-ohjain, logiikan ohjausyksikkö ja I/O-yksiköt, ohjaussulakkeet sekä hengenvaarallinen jännitesyöttö.

Taajuusmuuttajan ja servo-ohjaimen voimakkaan lämpenemisen johdosta kaappiin täytyi varmistaa riittävä tuuletus. Tuuletuksen järjestämisen suhteen pohdittiin erilaisia vaihtoehtoja ja toimivimmaksi vaihtoehdoksi todettiin sähkökaapin oveen sijoitettu lisätuuletin. Lisätuulettimen poistoilma johdettiin pulpetin pohjalevyn aukon kautta. Tuuletin varustettiin imuilman suodattimella.

Ohjauspulpetin painikkeiden sijoittelusta tehtiin CAD-kuva, joka lähetettiin kaapin toimittajalle aukotusten tekemistä varten (LIITE 2). Kaapin toimittaja suoritti myös etuoveen sijoitetun tuulettimen aukotuksen ja asentamisen kaapin valmistuksen yhteydessä.

Koneen syöttöjännitteen kytkentään ja sähkökaapin tarkastukseen käytettiin ulkopuolista urakoitsijaa, koska yrityksessä ei ollut riittävän sähköpätevyyden omaavaa henkilöä.

5 JÄRJESTELMÄN PARAMETRIEN ASETUS JA OHJELMOINTI

5.1 Parametrien asetus

Järjestelmän saattamiseksi toimintakuntoon täytyi servovahvistimelle ja taajuusmuuttajalle määrittää oikeat parametrien asetukset. Asetusten avulla servovahvistin ja taajuusmuuttaja saavat tiedon niihin kytketyistä moottoreista. Asetuksissa määriteltiin myös akselien liikealueet, harjamoottorin pyörimisnopeus, akselien suhdeluku jne.

Servojen parametointi

Servo-ohjaimen parametrien asetus suoritettiin TwinCAT-ohjelmointiympäristön System Manager -osiossa, jota käytettiin laitteiston kokoonpanon luomiseen ja kokoonpanon erilaisten parametrien asettamiseen. Servo-ohjauksen käyttöönoton yhteydessä servo-ohjaimelle täytyi asettaa erilaisia parametreja, jotka asetettiin kummallekin kanavalle erikseen. Kanavia käytettiin X- ja Y-akseleiden ohjaamiseen.

I/O-konfigurointi. Parametointi aloitettiin skannaamalla logiikkaan liitetyt I/O-yksiköt.

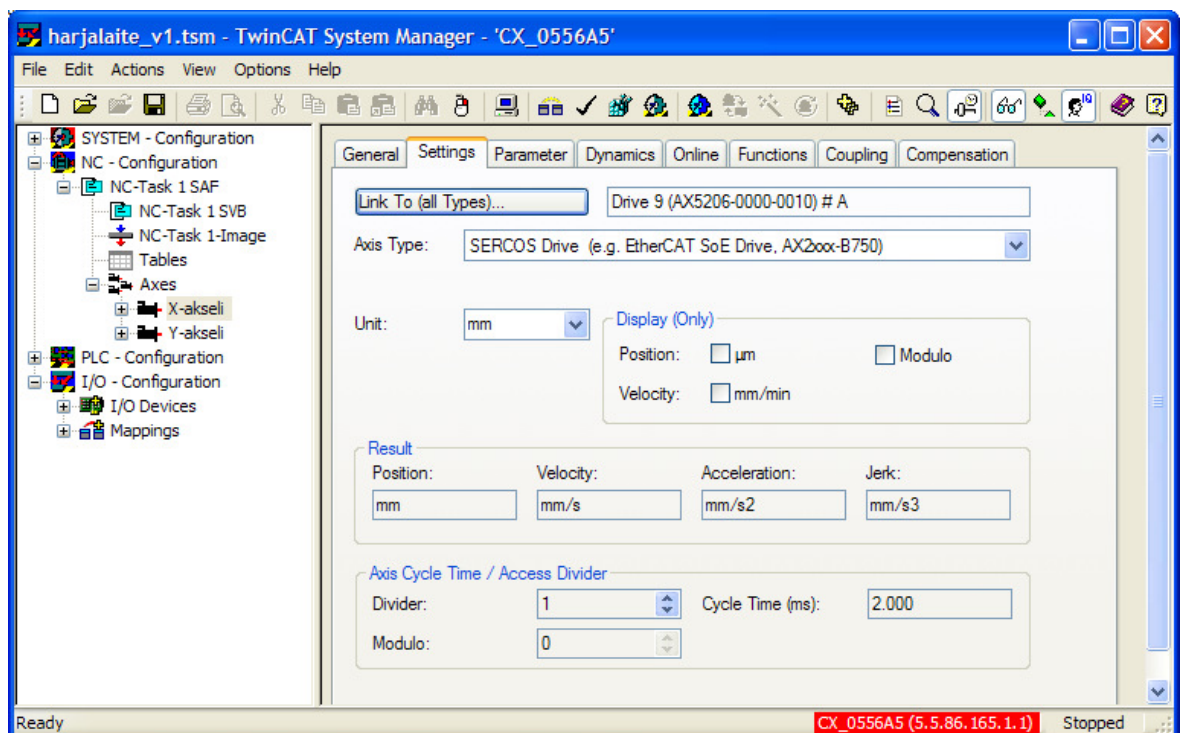


Kuva 12. I/O-yksiköiden skannaus (Beckhoff 2008).

I/O-laitteiden skannauksen jälkeen liitettiin molemmat akselit NC-konfiguraatioon.

Koska X- ja Y-akselien servomootorit olivat samanlaisia, voitiin molemmille akselleille käyttää samanlaisia parametrien asetuksia.

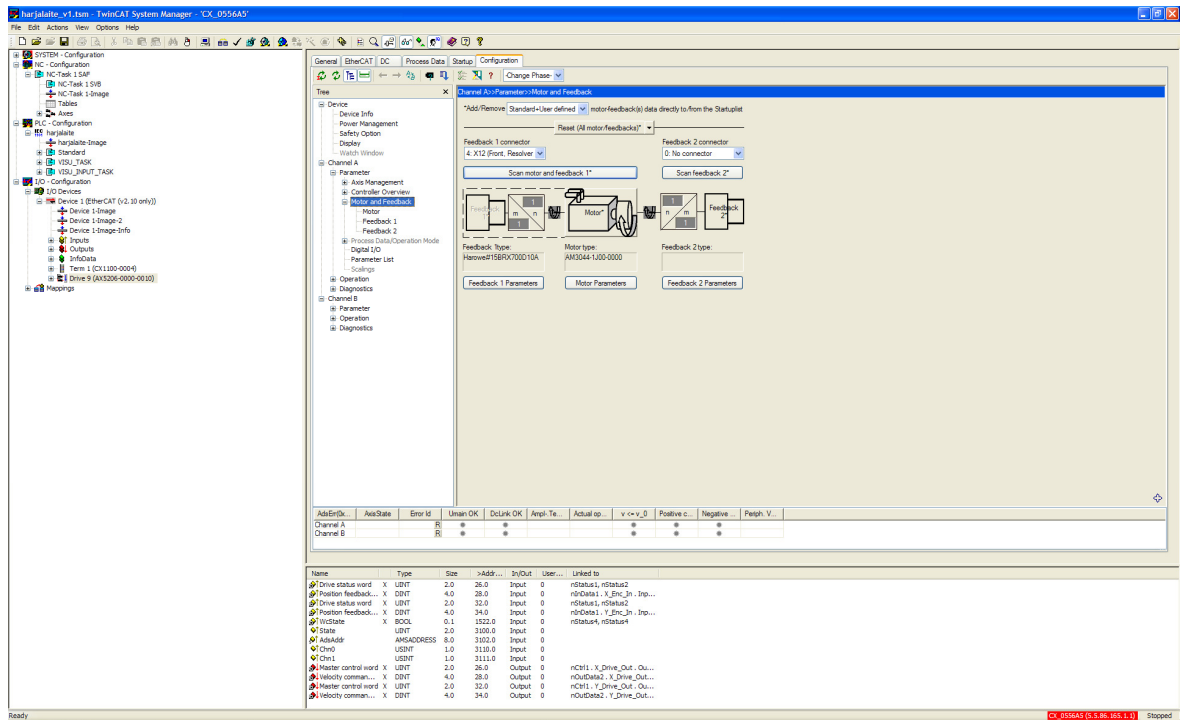
Akselin linkittäminen AX-5000-servo-ohjaimen suoritettiin valitsemalla akselin kohdalle kyseisen servo-ohjaimen tyyppi.



Kuva 14. Akselin linkittäminen servo-ohjaimen (Beckhoff 2010a)

Yksityiskohtaisempaa tietoa akseleiden eri asetusarvoista voitiin tarkastella System Managerin I/O-konfiguration-kohdassa.

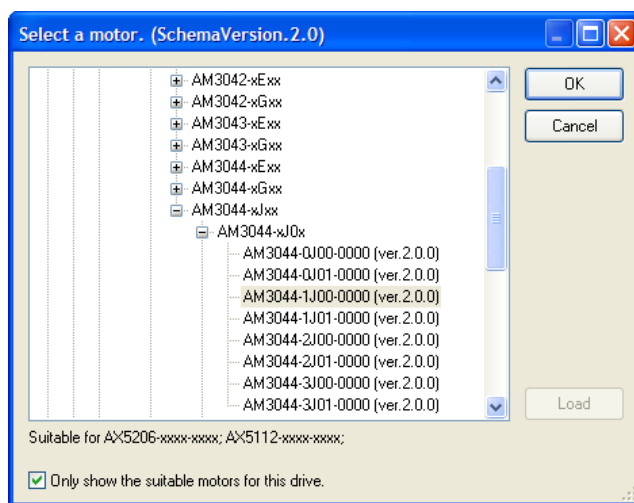
Servo-ohjaimen konfigurointi-välilehden vasemmasta kehyksestä valittiin Motor and Feedback -kohta. Tämän jälkeen klikattiin avautuneesta ikkunasta moottori-kuvaketta.



Kuva 15. Servo-ohjaimen moottorin valinta (Beckhoff 2010a)

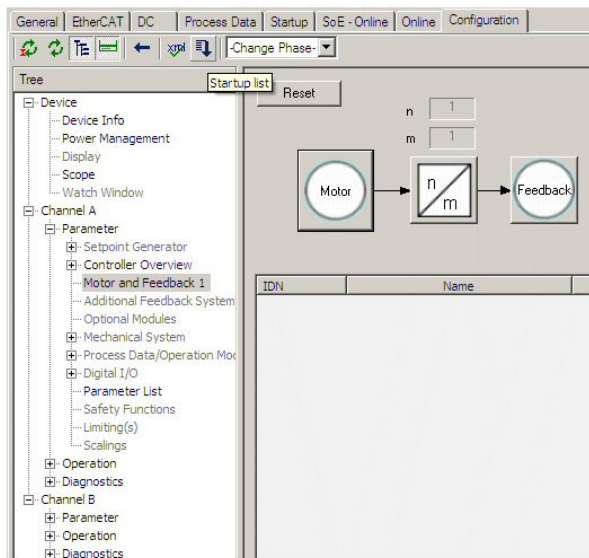
Valinnan jälkeen ruudulle avautui moottorien tietokannasta valintalista. Listalta voitiin valita ohjaimen soveltuvien moottoreiden joukosta kokoonpanon mukainen moottorityyppi.

Listalta valittiin moottoriksi AM3044-1J00.



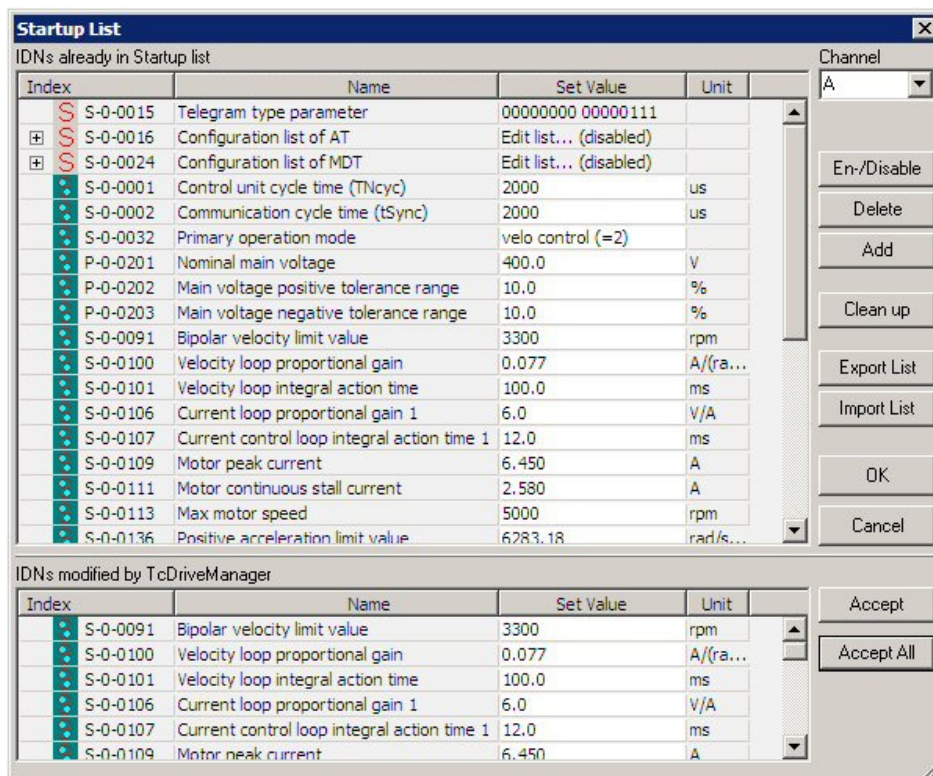
Kuva 16. Moottorien valintalista (Beckhoff 2010a)

Moottorin valinnan jälkeen ohjaimelle ladattiin moottorityypin parametrit painamalla Startup List -painiketta.



Kuva 17. Moottorien parametrien lataus ohjaimelle (Beckhoff 2010a)

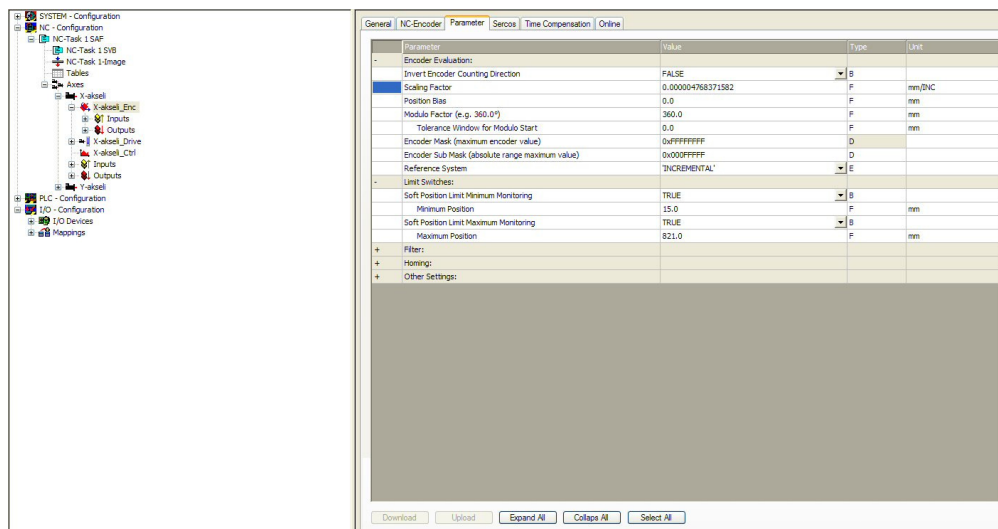
Parametrit hyväksyttiin oletusarvoisina ja lisättiin Startup List -kohtaan klikkaamalla Accept All -painiketta.



Kuva 18. Parametrien arvojen hyväksyminen (Beckhoff 2010a)

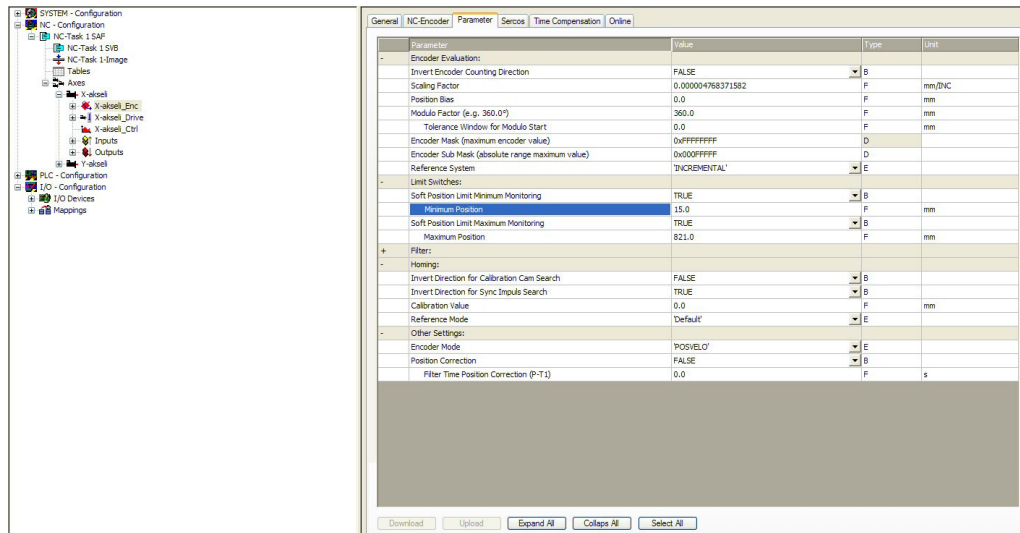
NC-konfiguraation asetukset. Nc-konfiguraatiossa valittiin x-akselin enkooderi ja asetettiin suhdeluku, joka kertoi kuinka paljon kyseisen kanavan akselin liike oli millimetreinä pulssia kohden. Kyseinen ohjain antoi 2^{20} -pulssia kierrosta kohden ja laitteen kuularuuvin nousu eli liike kierrosta kohden oli 5 millimetriä. Suhdeluku saatiin jakamalla kuularuuvin nousu kierrosta kohden ohjaimen pulssimäärä kierrosta kohden. Näin suhdeluvuksi tuli 0,000004768371582 mm/ pulssi.

$$\text{Suhdeluku} = \frac{\text{nousu} / \text{kierros}}{\text{pulssimäärä} / \text{kierros}} = \frac{5\text{mm}}{2^{20} \text{ pulssia}} \quad (1)$$



Kuva 19. Akselin suhdeluvun määrittäminen (Beckhoff 2010a)

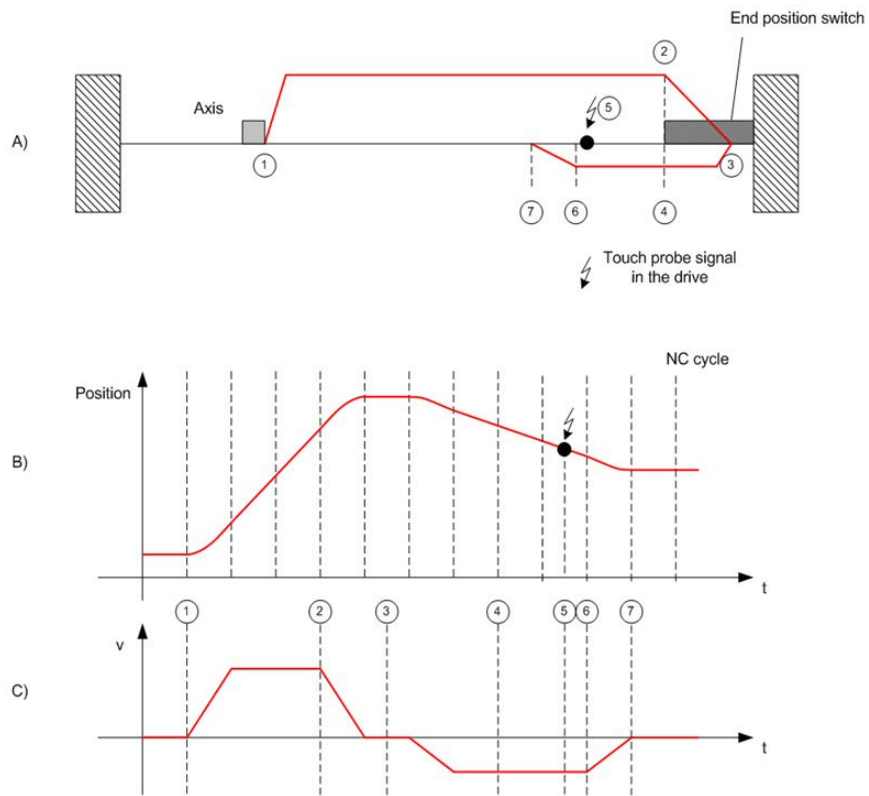
Molemmille akseleille annettiin rajakytkinten sijainnit lukuarvoina. Tällä tavoin esitettiin, ettei akseleita voitu ajaa kuularuuvin ääriasentoihin. Ääriasentoon ajaminen aiheuttaisi kuularuuvin tai kuularuuvin laakeroinnin rikkoutumisen.



Kuva 20. Rajakytkimen sijainnin arvon asettaminen (Beckhoff 2010a)

Referenssiajon suoritusstapa. Servo-ohjain suorittaa referenssiajon seuraavien vaiheiden mukaisesti:

1. Laitteen käynnistyksessä akseli on satunnaisessa sijainnissa raja-alueiden välissä.
2. Valitaan referenssiajo. Akseli alkaa liikkua ennalta valittuun suuntaan (positiivinen tai negatiivinen) saavuttaakseen referenssipisteen määrittävän rajakytkimen.
3. Referenssipisteen rajakytkimen antaessa tiedon akselin saapumisesta rajalle, akselin liike pysähtyy ja se alkaa palata takaisinpäin.
4. Akselin palatessa takaisinpäin ohjain tunnistaa rajakytkimen laskevan reunan.
5. Akseli jatkaa liikettä takaisinpäin, kunnes ohjain havaitsee synkronointipulssin tapahtuneen.
6. Synkronointipulssi todetaan havaituksi ja ohjain päättelee akselin saavuttaneen referenssipisteensä.
7. Akseli asettuu maksimitarkkuudella ennalta asetettuun sijaintiin.



Kuva 21. Referenssiajon suorituksen aikakaavio (Beckhoff 2010a)

5.2 Taajuusmuuttajan parametointi

Vacon NXL-taajuusmuuttajissa on valmiina tavallisimpiin käyttötapoihin soveltuvia perusohjelmia. Nämä ohjelmat ovat jaoteltuina moottorin käyttötavan perusteella seuraavasti:

- perussovellus
- vakiosovellus
- paikallis-/ kauko-ohjaussovellus
- vakionopeus
- PID-säätösovellus
- erikoiskäyttösovellus
- pumppu- ja puhallinkäyttösovellus

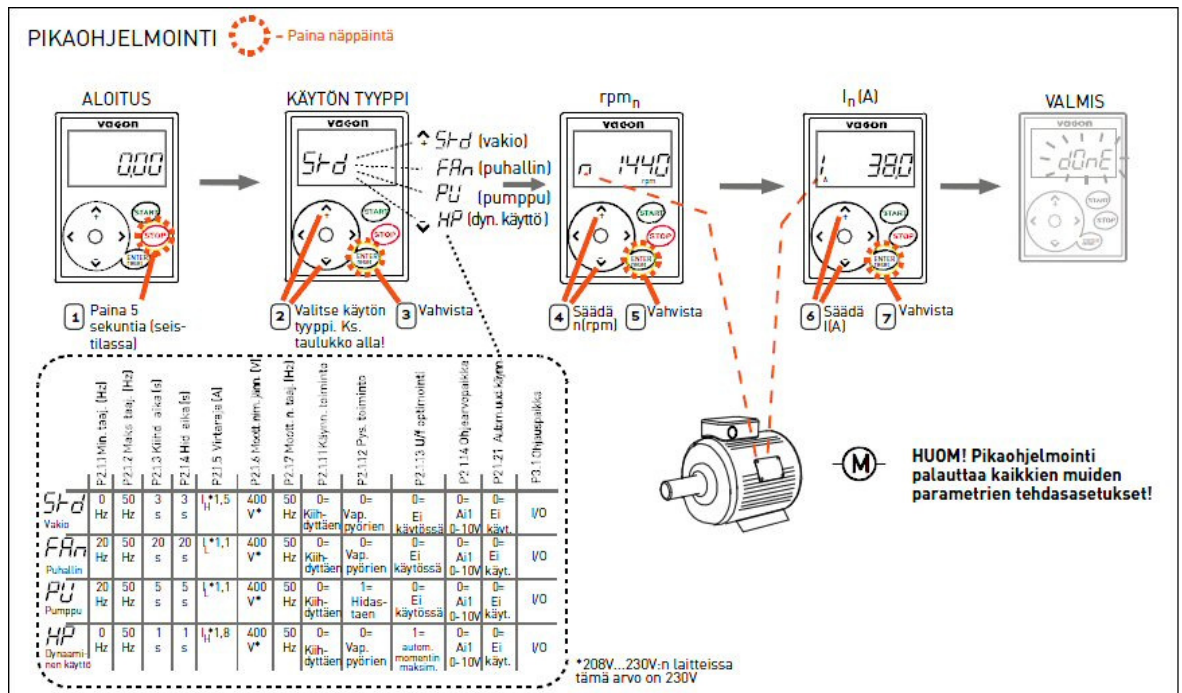
Harjamootorin ohjauksen yksinkertaisuudesta johtuen voitiin valita käyttöön perussovellus. Tällöin taajuusmuuttajan parametointi voitiin helposti suorittaa käyttöpaneelin avulla, koska aseteltavia parametreja oli vain muutama.



Kuva 22. Taajuusmuuttajan käyttöpaneeli (Vacon 2007)

Perussovelluksessa taajuusmuuttajalle syötetään käyttöpaneelin avulla moottorin tyyppikilvessä olevista tiedoista moottorin nimellisjännite, nimellistaajuus, nimellisvirta sekä $\cos \varphi$. Lopuksi taajuusmuuttajan ohjaustavaksi valittiin I/O-riviliittimet. Taajuusmuuttajan parametrien muuttaminen oli helppoa Vaconin pikaohjelmoin-

tioppaan avulla.



Kuva 23. Taajuusmuuttajan pikaohje (Vacon 2007)

5.3 Logiikkaohjelma

TwinCAT-ohjelmointiympäristö käyttää PLC-standardin IEC61131-3 mukaisia ohjelmointikieliä. Näistä tässä työssä käytettiin FBD (Function Block Diagram, toimilohkokaavio) ja ST (Structured Text, rakenteellinen tai strukturoitu teksti) ohjelmointikieliä (Strömman 2002. 60-62). Muita standardin mukaisia kieliä ovat SFC (Sequential Function Chart, sekvenssikaavio), LD (Ladder Diagram, relekaavio, tikapuukaavio) sekä IL (Instruction List, käskylista) (Fonselius ym. 2007. 224).

Toimilohkokaavio-ohjelmoinnissa ohjelma jaetaan virtapiireihin ja jokaisen virtapiirin lopussa on vähintään yksi muuttuja, jota ohjataan. Kyseisen ohjelmointimuodon vahvuutena on visuaalisuus ja visuaalisuuden avulla on helppo seurata siihen liitettyjen tulojen ja lähtöjen tilaa. Toimilohkokaaviota käytetään usein ohjelman päätasolla.

Rakenteellinen teksti muistuttaa hyvin paljon Visual Basicin tai Pascalin syntaksia.

ST-kielen avulla on mahdollista kommentoida jokaista koodiriviä. ST-kielen ohjelmoijalla on käytössään ohjelmointikielistä tutut ohjelmointirakenteet kuten ehtolausekkeet ja silmukat (Strömman 2002. 62).

Visual Basicin käytöstä oli yrityksessä jo ennalta usean vuoden kokemus joten rakenteellisen tekstin valinta aliohjelmien ohjelmointikieleksi oli luonnollinen valinta.

Logiikkaohjelma jaoteltiin seuraaviin kokonaisuuksiin:

- pääohjelma
- alkutoiminnot
- käsiajo
- automaattiajo.

Pääohjelma ohjelmoitiin FBD-kielellä ja siinä yhdistettiin eri toiminnalliset funktiolohkot toimilaitteiden lähtöihin.

Alkutoiminnot sekä käsi- että automaattiajo ohjelmoitiin ST-kieltä käyttäen, koska tekstimuotoisella kielellä oli helpointa toteuttaa ohjelman eri tapahtumien jaksotus eri askeliin. Käyttämällä ST-kieltä askelten toteuttaminen vei vähemmän tilaa kuin se, että ne olisi toteutettu esimerkiksi LD-ohjelmointikieltä käyttäen.

Alkutoiminnot

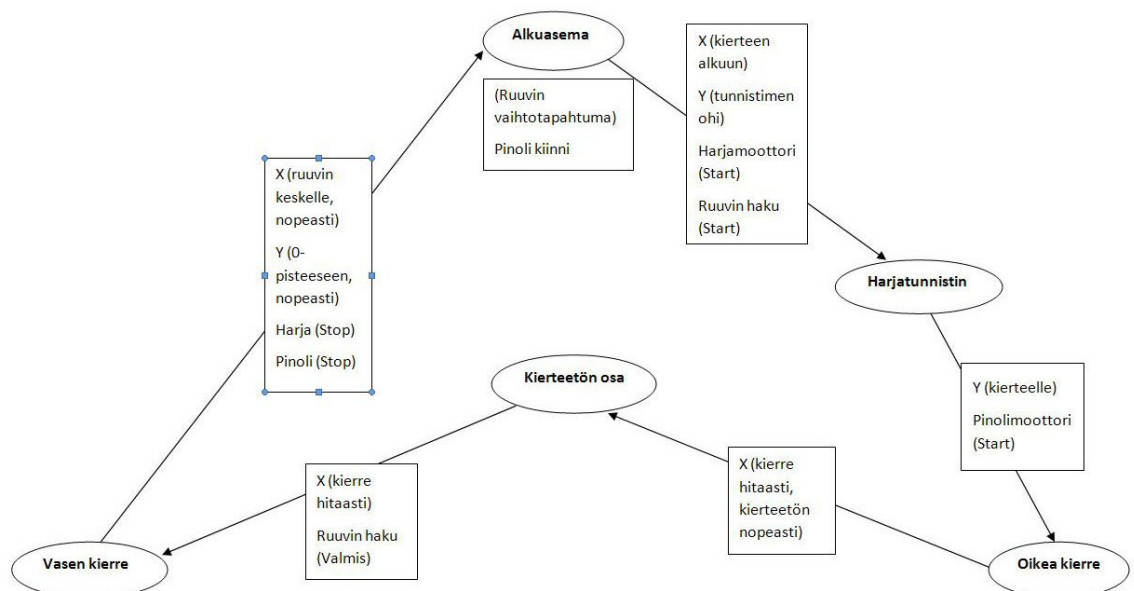
Alkutoiminnot suoritetaan aina ensimmäisenä koneen päävirran kytkemisen tai sähkökatkon jälkeen. Alkutoimintojen aikana suoritetaan X- ja Y-akselin referenssiajo. Referenssiajon aikana saadaan akselien paikkatieto palautettua. Alkutoimintojen aikana varmistetaan myös paineilmasynterien oikea asentoautomaattiajoa varten. Synterien asema varmistetaan ohjaamalla niitä haluttuun asentoon.

Käsiäjo

Käsiäjon avulla voidaan liikuttaa X- ja Y-akselia eteen- ja taaksepäin. Käsiäjoa käytetään myös pinolin liikuttamiseen kiinni- ja aukiasentoon sekä suoritetaan harja- ja pinolimoottorin käynnistäminen ja pysäyttäminen.

Automaattiajo

Automaattiajon ohjelmassa valitaan harjattava ruuvikoko taulukosta ja käynnistetään automaattiajo joko ohjauspulpetin tai kosketusnäytön käynnistysnapista. Automaattiajon aikana suoritetaan ruuvien harjaus, uuden harjaamattoman ruuvin siirtäminen manipulaattorille, manipulaattorin kääntäminen ja harjatun ruuvin siirto kuljettimelle sekä kuljettimen siirto eteenpäin.



Kuva 24. Harjauksen tapahtumien jaksotus.

Hälytykset

Virhetilanteen tapahtuessa ohjelma pysähtyy ja tapahtumasta annetaan tieto virhetaulukossa. Virhe voidaan poistaa kuittauksen jälkeen ja ohjelma saadaan takaisin alkutilanteeseen.

6 KONETURVALLISUUS

Koneen valmistajan tehtävänä on varmistaa, että uudet koneet täyttävät koneasetuksen (Valtioneuvoston asetus koneen turvallisuudesta (400/2008)) asettamat vaatimukset koneiden turvallisuudesta 29.12.2009 alkaen.

Koneasetus korvasi vuoden 1994 alusta voimassa olleen valtioneuvoston päätöksen koneiden turvallisuudesta 1314/1994, joka perustui EY:n direktiiveihin 89/392/EY ja 91/368/EY. Valtioneuvoston päätöstä koneiden turvallisuudesta 1314/1994 oli myöhemmin uudistettu ottamaan huomioon myös direktiivit 93/44/EY ja 93/68/EY. Uuden koneen oli pitänyt vuoden 1995 alusta ottaa huomioon konepäätöksen vaatimukset. (Sillanpää 2010.)

Koneasetus perustuu EY:n konedirektiiviin 2006/42/EY. Konedirektiivi edellyttää, että koneen valmistajan on suoritettava koneen turvallisuussuunnittelu ottaen huomioon koneen terveys- ja turvallisuusriskit kaikissa elinkaaren vaiheissa ja suunniteltava ja rakennettava kone siten, että kone soveltuu tarkoitettuun käyttöön ottaen huomioon myös kohtuudella ennakoitava väärinkäyttö. (Työsuojeluhallinto 2008, 3-7.)

Konepäätös koskee sitä osapuolta, joka saattaa koneen markkinoille ja sitä sovelletaan jokaiseen uuteen koneeseen koskien myös omaan käyttöön valmistettuja (Työsuojeluhallinto 2008, 4-5).

Konepäätöksen lisäksi konetta voi koskea mm. seuraavat direktiivit:

- pienjännitedirektiivi
- EMC-direktiivi (Sähkömagneettinen yhteensopivuus)
- ATEX-direktiivi (Räjähdyksivaara)

- paineestidirektiivi
- kaasulaitedirektiivi
- ajoneuvodirektiivi (Työsuojeluhallinto 2008, 5.)

Koneen valmistajan tehtäviin kuuluu:

- riskien arviointi
- konetta koskevien turvallisuusmääritysten selvittäminen
- suunnitella ja valmistaa kone olennaisten turvallisuusvaatimusten mukaisesti
- laatia käyttöohjeet ja tehdä koneeseen tarvittavat merkinnät
- laatia tekninen rakennetiedosto
- tehdä vaatimustenmukaisuusvakuutus
- kiinnittää koneeseen CE-merkintä. (Työsuojeluhallinto 2008, 6.)

6.1 Vaaratekijöiden arviointi ja riskikartoitus

Koneen vaaratekijät arvioidaan ja ne poistetaan tai niiden aiheuttamaa riskiä vähennetään niin paljon kuin mahdollista tekemällä riskin arviointi jokaiselle vaaratekijälle erikseen. Riskin arvioinnin perusteella suunnitellaan turvallisuustoimenpiteet siten, että kone saadaan turvalliseksi koko sen elinkaaren aikana.

Riskikartoitus

Riskien arvioinnissa määritellään koneen raja-arvot, erilaiset vaarat ja vaaratilanteet, määritellään riskien suuruudet ja niiden merkitys. Riskin arvioinnissa otetaan huomioon myös kohtuudella ennakoitavissa olevat väärinkäyttömahdollisuudet.

Riskien arvioinnin apuna voidaan käyttää esimerkiksi:

- standardeja SFS-EN ISO 14121-1, SFS ISO/TR 14121-2:fi, SFS-EN ISO 12100 osat 1 ja 2
- vaaratekijäluetteloita

- tietokoneohjelmistoja
- SFS-käsikirja 93 Koneiden turvallisuus
- konekohtaisia standardeja. (Työsuojeluhallinto 2008, 7; Sillanpää 2010.)

Harjalaitteen osalta riskin arviointiin käytettiin seuraavanlaista menetelmää:

- Vaaratekijä/ -tilanne
 - RISKI = riskin esiintymisen tiheys (1-3) * seurausten vakavuus (1-3)
 - RISKILUOKKA = 1-2 pieni, 3-5 toimenpiteitä tarvitaan, 6-9 toimenpiteet pakollisia

Riskin arvioinnin jälkeen suunniteltiin ja toteutettiin suojaustoimenpiteet ja tämän jälkeen tehtiin riskin arviointi uudelleen ja arvioitiin jäännösriski. Menetelmä toistettiin riittävän monta kertaa, että jäännösriski saatiin riittävän pieneksi tai se saatiin poistettua.

Turvallisuustoimenpiteiden suunnittelu

Turvallisuustoimenpiteiden suunnittelun vaiheet:

Vaihe 1. Vaarat poistetaan suunnittelemalla ja rakentamalla kone turvallisiksi

- käytetään ja valitaan sellaisenaan turvallista teknologiaa ja prosesseja
- koteloidaan vaaralliset osat laitteen rungon sisään
- otetaan huomioon ergonomiset periaatteet
- sovelletaan turvallisuusperiaatteita ohjausjärjestelmiä suunniteltaessa
- mekanisoidaan tai automatisoidaan käsin tehtäviä työvaiheita
- estetään koneen käyttö epätavallisella tavalla.

Vaihe 2. Vaarat poistetaan suojausteknisillä toimenpiteillä

- suojuksia ja turvalaitteita on käytettävä suojaamaan työntekijöitä vaaratilanteilta, joita ei voida poistaa tai riittävästi rajoittaa suunnittelun avulla.
- suojusten ja turvalaitteiden valinta perustuu koneelle tehtyyn riskin arviointiin.

Vaihe 3. Käyttö- ja huolto-ohjeet, merkinnät ja muut varotoimenpiteet

- ilmoitetaan vaaratekijöistä koneen vastaanottajalle
- ilmoitetaan erikoiskoulutuksen tarve
- määritellään henkilösuojainten tarve
- varoitustekstit ja -merkinnät koneessa.

Suunnittelijan on otettava huomioon myös mahdollisten lisävarotoimenpiteiden tarpeesta:

- huollettavuuden varmistaminen
- erottaminen luotettavasti energiansyötöstä ja energian turvallinen purkaminen
- turvallinen pääsy käyttö- ja huoltokohteisiin
- vianetsintä- ja korjausjärjestelmät.

6.2 Tarkastuspöytäkirjat

Koneen sähköturvallisuuden testaus suoritettiin ulkopuolisen urakoitsijan toimesta. Testaus suoritettiin standardin SFS-EN 60204-1 kohdan 19 mukaisesti. Testauksessa mitattiin suojajohtimen jatkuvuus, suoritettiin eristevastusmittaus ja jännitekoe sekä jäännösjännitetestaus. Lisäksi tarkistettiin moottoreiden pyörimissuunnat ja Hätäseis-piirin toiminta. (LIITE 3).

7 TULOKSIA JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Työn tavoitteena oli suunnitella harjalaitteeseen liikkeenohjaus ja toteuttaa suunnitelma käytännössä. Toimivan laitteen suunnittelu ja sen toteuttaminen käytännössä tarkoitti sitä, että täytyi ottaa selvää monista koneturvallisuuteen liittyvistä asioista. Koneen suunnittelussa ja toteutuksessa piti huomioida koneen turvallisuuden liittyvät lukuisat direktiivit, lait, asetukset ja standardit.

Työn toteuttaminen käytännössä johti moniin erilaisiin työtehtäviin. Laitteen sähköistyksen suunnittelu ja sähkökuvien piirtäminen aiheutti päänvaivaa, koska niistä ei ollut aikaisempaa kokemusta. Sähkökaapin valintaa auttoi huolellinen erilaisten vaihtoehtojen tutkiminen ja kaapin osasijoittelun piirtäminen. Toteutuksen lopuksi suoritettava logiikkaohjelman tekeminen oli kuitenkin muita työtehtäviä helpompaa, koska siitä oli jo aikaisempaa kokemusta.

Työn tuloksena saatiin yrityksen käyttöön arvokasta tietoa erilaisten liikkeenohjaustapojen toteutuksesta ja erityisesti sähköisestä servo-ohjauksesta. Ohjaustapojen tutkimisen aikana voitiin vertailla erilaisten liikkeenohjaustapojen soveltuvuutta laitteen ohjaukseen. Tutkimuksen aikana eri liikkeenohjauksien vahvuudet ja heikkoudet tulivat hyvin esille.

Työn ansiosta saatiin yritykseen ajantasaista tietoa koneturvallisuudesta, uudesta koneasetuksesta ja sen vaatimuksista. Tietojen avulla voitiin suunnitella kone turvallisuusvaatimukset huomioiden. Koneturvallisuuteen perehtyminen antoi mahdollisuuksia arvioida koneen erilaisia riskejä eri käyttötilanteet huomioiden.

8 YHTEENVETO

Liikkeenohjauksen suunnittelun aikana vertailtiin erilaisia toteutusmuotoja. Hydrauliiikan ja paineilman heikkoudeksi muodostui epätarkkuus verrattuna sähköservo-ohjaukseen.

Suunnittelun aikana vertailtiin myös servo-ohjauksen toimittajien tapaa toteuttaa liikkeenohjaus. Esille tuli eroavaisuuksia liikkeenohjausfunktioiden ohjelmoinnissa, logiikkaohjelman simuloinnissa ja laitteiston hinnassa. Beckhoffin laitteisto muodostui hinnaltaan edullisemmaksi ja merkittävää oli myös ohjelman simulointimahdollisuus ilman laitteistoa.

Suunnittelutyöhön kuului logiikkaohjelmoinnin lisäksi laitteiston sähkösuunnittelu, joka vaati paljon selvittelytyötä. Selvittelytyötä aiheutti erilaisten sähköturvallisuuksimääräysten tutkiminen ja sähköisten komponenttien mitoitus ja valinta.

Varsinainen liikkeenohjauksen toteutus alkoi keväällä 2010, jolloin laitteeseen hankittiin servo-ohjauksen komponentit. Laitteen sähkökytkennät suoritettiin ja suoritettiin vaaditut sähköturvallisuuksimittaukset.

Mekaanisten komponenttien valmistuttua laitteen testaus voitiin suorittaa kesän aikana. Testauksen aikana korjattiin ohjelmassa esiintyneitä virheitä ja parannettiin automaattiajon nopeutta.

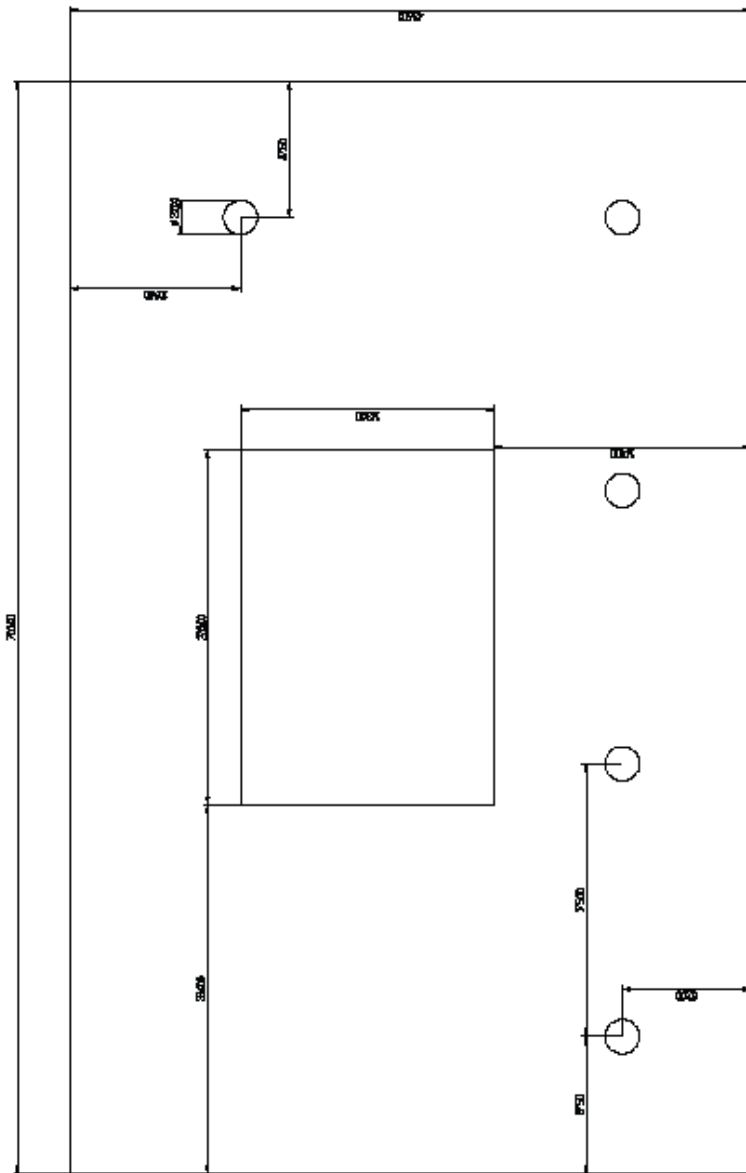
Työn tuloksena saatiin luotua harjalaitteeseen ohjausjärjestelmä, jonka avulla voidaan harjata useita mitoiltaan erilaisia ruuveja. Laitteen harjausliikkeiden pituudet ja nopeudet voidaan nopeasti muuttaa uuden ruuvin kokoja vastaavaksi. Laitteeseen liitetyn kuljettimen ja syöttölaitteen ansiosta työntekijän on mahdollista tehdä harjauksen aikana toista työtä kuten esimerkiksi ruuvien pakkausta.

LÄHTEET

- Andersson, M. <xxx.xxx@xxx.fi> 12.11.2009. Turvalaitetarjous. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Jukka Rintamäki. [Viitattu 5.9.2010].
- Beckhoff Automation Oy. 2010a. AX5000_usermanual_en.chm. [Verkkójulkaisu]. Beckhoff Automation Oy. [Viitattu 4.8.2010]. Saatavana <http://download.beckhoff.com>.
- Beckhoff Automation Oy. 2008. TwinCat peruskurssi. [kurssimoniste]
- Beckhoff Automation Oy. 2010b. Main Catalog 2010. [Verkkójulkaisu]. [Viitattu 10.9.2010]. Saatavana http://download.beckhoff.com/download/document/catalog/main_catalog/english/main_catalog_2010.pdf
- Datasheet Archive. 2010. Datasheet & Application Note Database. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 9.1.2010]. Saatavana: <http://www.datasheetarchive.com/E3S-AT31-datasheet.html>
- Fonselius J., Pekkola K., Selosmaa S., Ström M., & Välimaa T., 1999. Automaatiolaitteet. Helsinki: Edita.
- Fonselius J., Korhonen J., Saarineva J., & Pekkola K., 1994. Pneumaatiikka. Helsinki: Opetushallitus.
- Fonselius J., Rinkinen J., & Vilenius M., 1998. Servotekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2001. Koneautomaatio. 2, Logiikat ja ohjausjärjestelmät. Helsinki : WSOY.
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki : WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Koivusalo J. 2008. Kehitysjohtaja. Memar Oy. 7.7.2008. Työpaikka-haastattelu.
- Koivusalo J. 2009. Harjalaitteen kokoonpanokuva.
- Laurinen, T. 2008. Hydraulikkaa vai sähköservotekniikkaa?. Ohutlevy 2008 (2), 40-41.
- Lepistö, T. 2008a. Aluemyyntipäällikkö. Beckhoff Oy. 10.9.2008. Palaveri servo-ohjauksen tarjousta varten.

- Lepistö, T. <xxx.xxx@xxx.fi> 22.9.2008. NC esimerkki TwinCATilla. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Jukka Rintamäki. [Viitattu 18.2.2010].
- Memar Oy. 2009. TeollisuusSuomi (Elokuu), 11.
- Paavola, J. 2007. CX-One ja liikkeenohjaus 2007.pdf. [Verkkajulkaisu]. Omron Electronics Oy. [Viitattu 18.2.2010]. Saatavana Omron Oy verkkopalvelusta: Vaatii käyttöoikeuden.
- Paavola, J. 2004. Jatkokoulutus_II_CXP_2004.pdf. [Verkkajulkaisu]. Omron Electronics Oy. [Viitattu 18.2.2010]. Saatavana Omron Oy:n verkkopalvelusta: Vaatii käyttöoikeuden.
- Paavola, J. <xxx.xxx@xx.xxx.com> 5.9.2008. Omronin servo-ohjaus. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Jukka Rintamäki. [Viitattu 18.2.2010].
- PLCopen. 2008. Function blocks for motion control. [Verkkajulkaisu]. PLCopen. [Viitattu 5.9.2010]. Saatavana <http://www.plcopen.org>.
- SFS-EN ISO 14121-1. 2007 (julk. 2008). Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 1: Periaatteet. Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS ISO/TR 14121-2:fi. 2009. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä [tekninen raportti]. Suomen Standardisoimisliitto.
- Sillanpää, T. 2010. CE-koulutus 21.4.2010. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus.
- Strömman M. 2002. Ohjelmoitavan logiikan ohjelmointi ohjelmistotuo-
tantoprosessina. Teknillinen korkeakoulu. Diplomityö. Julkaisema-
ton.
- Työsuojeluhallinto. 2008. Koneturvallisuus. Koneiden tekniset vaati-
mukset ja vaatimuksenmukaisuus. [Verkkajulkaisu]. Tampere:
Työsuojeluhallinto. [Viitattu 8.11.2010]. Saatavana:
[http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2008/12/tso_16-
2009.pdf](http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2008/12/tso_16-2009.pdf)
- Vacon Oyj. 2007. Käyttöohje NXL taajuusmuuttajat & "Multi-control" –
sovelluopas.

LIITE 2: Ohjauspulpetin layout-kuva




Y
X

Kuvanto: PÄÄLTÄ Työkoordi: PÄÄLTÄ Konst.taso : PÄÄLTÄ

85.821
mm

MITTAUS- JA TESTAUSPÖYTÄKIRJA
KONEMITTAUKSIIN

2 (2)

Jännitekoe		
Testijännite 1000 V Huom. VAARAI Todettu vuotovirta / 6 mA		
Jäännösjännitetestaus		
Jäännösjännitteen arvo 5 s katkaisusta	13 V	Jäännösjännitteen arvo 1 s katkaisusta 5 V
Toiminnalliset kokeet		
Pyörimissuunnat moottoreissa OK		
Hätä-Sels toiminta OK		
Käytetyt mittalaitteet		
Laite	Valmistaja	Tyyppi
Asennustesteri	Fluke	1653B
Koneesteri	Metrel	MI2170
Mittaus- ja testauspäivämäärät 2.3.2010		
Koestuksen suorittajat		
Yritys	Nimi	Allekirjoitus
Sähköasennus Jari Mattila Ky	Jari Mattila	Jari Mattila 
Alakyläntie 44		
62710 Kurejoki		