

SUUNNITTELUPROSESSIN TOTEUTTAMINEN

Työstö- ja kokoonpanolinjaston toteutus

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Suunnittelupainotteinen mekatroniikka
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2011
Petri Grek

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

GREK, PETRI:

Suunnitteluprosessin toteuttaminen
Työstö- ja kokoonpanolinjaston toteutus

Mekatroniikan suuntautumisvaihtoehdon opinnäytetyö, 34 sivua, 6 liitesivua

Kevät 2011

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella Lahden ammattikorkeakoululle koottavaa työstö- ja kokoonpanolinjastoa sekä tuottaa siitä piirustukset sähköisten laitteiden osalta. Sähköpiirustuksissa pyrittiin saavuttamaan yritysmäinen taso. Lisäksi tutkittiin opetettua menetelmää toteuttaa projektimainen suunnittelutyö. Työn ohessa tuotettiin ohjekirja, jota voitaisiin käyttää uusien sähkösuunnittelijoiden perehdyttämisessä ja opetuksen oheismateriaalina.

Kyseinen linjasto oli esiasennettu oppilasprojektina, ja muutoksia niiltä osin tehtiin päivittämällä sähköpiirustukset asianmukaisiksi. Tämä tarkoitti yritysten toimittamien mallikuvien läpikäymistä ja tutkimista. Mallikuvien pohjalta olemassa olevia linjaston sähköpiirustuksia uusittiin. Työohjeeseen kerättiin samalla materiaalia niistä tiedoista, jotka sähkösuunnittelijan tulisi hallita. Tämä tarkoitti SFS-standardien läheistä tarkastelua.

Työ suoritettiin yhden henkilön opinnäytetyönä, jota oli tukemassa oppilasprojektiryhmä. Sähköpiirustukset toteutettiin käyttämällä Kydata Oy:n valmistamaa CADS Planner Electric -ohjelmaa, joka oli vakiintunut työkalu niiden yritysten käytössä, jotka antoivat asiantuntija-apua linjaston sähköpiirustusten muokkaamisessa.

Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa käytiin lävitse linjastossa käytetyt ratkaisut sähköisten laitteiden osalta sekä tutkittiin suunnitteluprojektin etenemistä verraten sitä opittuun menetelmään.

Avainsanat: suunnitteluprosessi, sähkösuunnittelu, työstö- ja kokoonpanolinjasto

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

GREK, PETRI:

The implementation of a
machining and assembly line

Bachelor's Thesis in Mechatronics

34 pages, 6 appendices

Spring 2011

ABSTRACT

The goal of this Bachelor's thesis was to examine a machining and assembly line meant to be assembled at Lahti University of Applied Sciences, and also to produce the drawings of the electrical appliances. In electrical planning, the goal was to achieve a professional level. Additionally, the instructed method to execute a project-like work was studied. A manual, which could be used as a guide in familiarizing electrical planners and as documentation in education, was also written.

The production line in question was pre-installed as a student project, and chances were made by updating the electrical documentations to an appropriate level. This meant going through and studying model documentation, which were provided by companies. According to model documentation, the existing electrical drawings were revised. At the same time, information was collected for the manual about what is important to an electrical planner. This meant close studying of the SFS standards.

The work was done as an individual student's thesis, but supported by a student project group. The electrical drawings were done using the CADS Planner Electric software developed by Kymdata ltd, an established tool amongst the corporations, who provided technical assistance in modifying the electrical drawings of the production line.

The in-line solutions used for the electrical devices were reviewed, and the design process of the project was studied and compared to the learning process described in the written part of the thesis.

Key words: design process, electrical designing, machining and assembly line

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TYÖN RAJAUS	2
3	LINJASTON SÄHKÖMEKAANINEN RAKENNE	3
3.1	Sankyo-työstö- ja kokoonpanoyksiköt	3
3.2	Logiikka	5
3.3	Muut toimilaitteet	6
3.4	Turvajärjestelmä	7
3.5	Käyttöliittymä	8
3.6	Kuljetusalusta	8
3.7	Toiminta	8
4	YLEISIMMÄT RATKAISUT SÄHKÖPIIRUSTUKSISSA	11
4.1	Piirustuskenttä	12
4.2	Kuvatunnukset	13
4.3	Pääpiirikaavio ja piirikaavio	14
4.4	Kojetunnukset, position mukainen merkintä	15
4.5	Ohjausvirtapiiri	17
4.6	Logiikka	17
5	SUUNNITTELUPROSESSI	19
5.1	Tarve	19
5.2	Tarjouspyyntö ja tarjous	19
5.3	Projektipäällikkö	20
5.4	Sopimus	21
5.5	Projektisuunnitelma	22
5.5.1	Projektisuunnitelman sisältö	23
5.5.2	Tiivistelmä, johdanto, tavoitteet, vaatimusmäärittely ja rajaukset	24
5.5.3	Organisaatio	24
5.5.4	Projektiorganisaatiomallit	25
5.5.5	Resurssit ja suunnitelma, aikataulu, kustannusarviot	26
5.5.6	Riskit ja niiden hallinta	28
5.5.7	Tiedottaminen ja dokumentaatio	29

5.5.8	Tulosten luovuttaminen ja projektin päättäminen	30
5.5.9	Sanasto ja termit	30
6	VERTAILU OPITTUUN	31
7	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET	35
	LIITTEET	37

1 JOHDANTO

Lahden ammattikorkeakoulun tiloihin rakennetaan työstö- ja kokoonpanotuotantolinjasto, jota voitaisiin käyttää opetuksen tukena yhdyspintana reaali maailmaan. Opetus toteutettaisiin ensin simuloimalla luokkatiloissa virtuaalista järjestelmää, minkä jälkeen siirryttäisiin työskentelemään oikean linjaston parissa. Simulaatio-toteutuksen osalta Lahden ammattikorkeakoulun kanssa yhteistyötä tekee Hämeen ammattikorkeakoulu. Lisäksi projektiin osallistuu useita teollisuuden toimijoita, joista muutamina mainittakoon Raute Oyj, Orfer Oy sekä Dieffenbacher Panelboard Oy.

Tällä hetkellä linjastosta ei ole toteutettu opetuskäyttöön tarkoitettuja sähköpiirustuksia, joiden tulisi olla valmiit ennen linjaston varsinaista käyttöönottoa. Tämän työn tarkoituksena on toteuttaa rakennettavaan työstö- ja kokoonpanolinjastoon asianmukaiset dokumentit sähköisten komponenttien kytkentöjen osalta. Lisäksi tuotetaan ohjekirja, jota voidaan käyttää sähkösuunnitteluprojektiin osallisina olevissa yrityksissä sähkösuunnittelijoiden ohjeena sekä oppilaitoksessa lisämateriaalina.

Tuotettavaa materiaalia käytettäisiin opetuksen tukena erityisesti sähkö- ja automaatio suunnittelussa. Lisäarvoa yritysten kannalta ohjeella saavutetaan, kun valmistuva opiskelija on tutustunut niihin menetelmiin, joita yrityksissä käytetään sähkösuunnittelussa. Ohje annetaan asiantuntija-apua tarjoavien yritysten tarkastettavaksi ja lopullinen ohje luovutetaan yritysten käyttöön. Samalla yritysten väliset erot kaventuvat ja muodostetaan yhtenäisempi tapa toimia Päijät-Hämeen alueella.

Lisäksi varsinaisessa opinnäytetyössä käydään lävitse suunnitteluprosessin kulkua ja toteutusta. Lukijalle pyritään kertomaan menetelmiä tehokkaaseen projektinhallintaan ja johtamiseen. Tämän prosessin hallitseminen parantaa työn suorittamista, nopeuttaa prosessin kulkua, parantaa työn laatua sekä vähentää epäonnistumisiin johtavien riskien toteutumista.

2 TYÖN RAJAUS

Koska linjasto on jatkuvan kehityksen kohteena, työn rajausta toteutettiin asettamalla työhön aikaraja. Kaikki aikaansaatu dokumentaatio sekä varsinaiset muutostyöt linjaston parissa viikkoon yhdeksän mennessä tulisi käsitellä opinnäytetyössä. Viikon yhdeksän jälkeen tapahtuvat muutokset kirjattaisiin dokumentaatioon mutta ei käsiteltäisi tässä työssä.

Sähköisen dokumentaation osalta tässä työssä käytiin yleisluontoisesti läpi ne asiat, jotka ovat yleisesti hyödynnettävissä. Sähköisten laitteiden kytkentöjen osalta varsinaisia sääntöjä tai ohjeita on hyvin niukasti ja tästä syystä useimmissa suunnittelua harjoittavissa yrityksissä on omat ohjeensa ja tapansa työn toteuttamiseen. Yhteistyössä toimivilta yrityksiltä saatiin aikaisempien projektien yhteydessä toteutettuja sähköpiirustuksia malleiksi, joita käyttämällä toteutettiin linjaston nykyiset sähköpiirustukset. Näitä malleja käyttämällä tuotettiin myös joitakin yleisluontoisia malleja, joihin tässä työssä viitataan.

Dokumentaatiota laadittaessa käytettiin Kymdata Oy:n valmistamaa CADS Planner Electric -ohjelmaa. Ohjelma oli tullut tutuksi perusosiltaan Lahden ammattikorkeakoulussa opetuksen yhteydessä. Opinnäytetyön yhtenä rajauksena oli siirtää dokumentointi tietokantapohjaiseen järjestelmään tulevaisuudessa työelämässä tapahtuvan suunnittelun oppimiseksi ja tehostamiseksi.

Tietokantapohjaiseen dokumentaatioon on käytössä useita ohjelmistoja, ja koska työssä käytettiin ainoastaan edellä mainittua ohjelmistoa, tietoa ei voida käyttää hyväksi muita ohjelmistoja käytettäessä. Tästä syystä varsinaisen opinnäytetyön tekstissä ei käydä läpi tietokannan käyttöä.

3 LINJASTON SÄHKÖMEKAANINEN RAKENNE

Tässä opinnäytetyössä käydään lävitse niitä komponentteja, joita käytettiin linjaston rakentamisessa. Suurin osa näistä komponenteista on teollisuudessa käytettäviä peruskomponentteja, joidenkin erotessa yleisestä, teollisuudesta käytetystä linjasta. Linjaston rakennetta tutkittaessa tulee pitää mielessä linjaston käyttö- ja rakennuskohde. Linjastoa ei ole rakennettu optimaalista tuotantoa silmälläpitäen, vaan osa ratkaisuista perustui oppilaitoslähtöiseen ajatteluun.

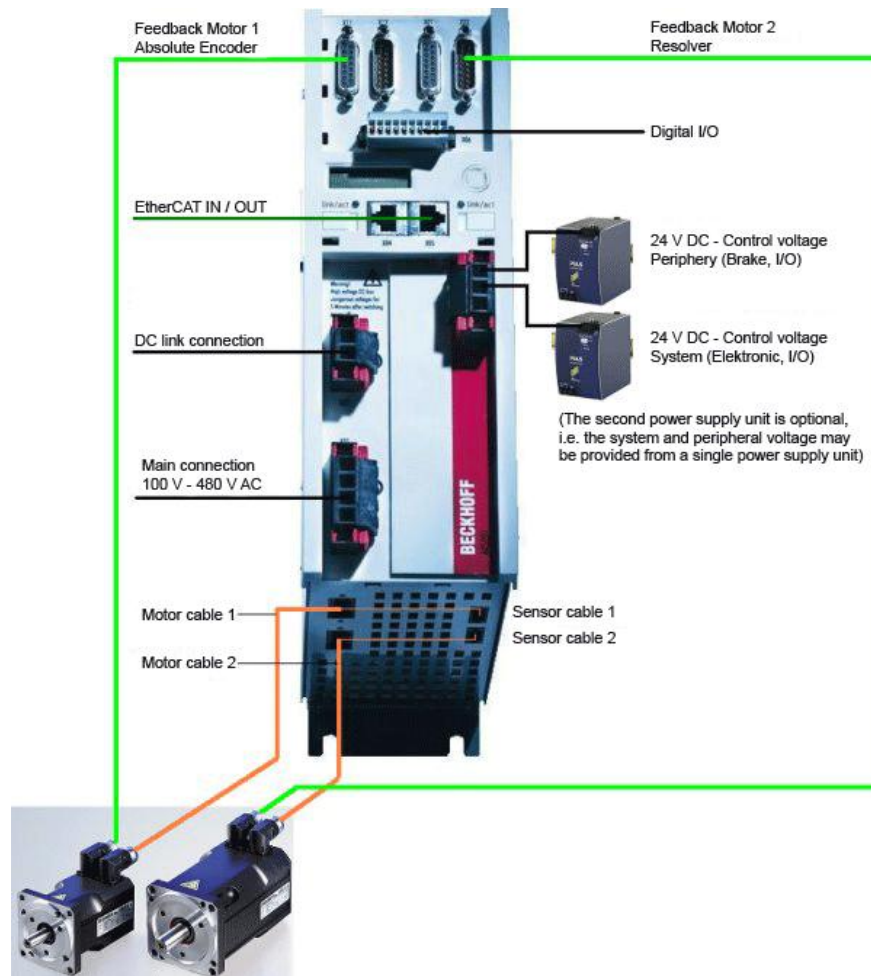
3.1 Sankyo-työstö- ja kokoonpanoyksiköt

Linjastossa käytetään kolmea X-, Y- ja Z-tasolla liikkuvaa suorakulmaista robottia. Liikkeet toteutetaan Sankyon toimittamia lineaariyksiköitä käyttäen. Lineaariyksiköt ovat kuularuuvikäytöllä varustettuja.

Lineaariyksiköitä ajetaan Beckhoffin AM3033-moottoreilla, jotka ovat synkronoituja servomoottoreita. Moottorit on varustettu absoluuttiantureilla, ja ne on kytketty ohjausyksikköön. Synkronoidun servomoottorin etuja ovat suuri momentti kaikilla nopeuksilla, paikoitustarkkuus, kiihdytys- ja hidastusarvot sekä moottorin fyysiseen kokoon nähden suuri vääntö. Lisäksi Beckhoffin servomoottoreissa on käytetty tekniikoita, jotka parantavat moottorin suorituskykyä ja kestävyyttä. (Beckhoff Automation Oy 2010.)

Kaikkien kolmen yksikön rakenne on identtinen. X- ja Y-liikkeissä käytetään jarruttomia moottoreita, ja Z-liikkeiden suorittamat moottorit on varustettu mekaanisilla jarruilla. Näin estetään Z-akseleilla toimivien työstöyksiköiden tahattomat liikkeet jännitteen poiskytkemisen jälkeen.

Pneumaattisesti toimivat tarttumat ja työstölaitteet kiinnitetään Z-akseiden päihin, joita kirjoitushetkellä ei ollut vielä valittu. Jokaiseen soluun valitaan työvaihetta vastaava toimilaite, jolla voidaan suorittaa tietty toiminto. Toimilaitteita ei tässä projektissa ole tarkoitettu automaattisesti vaihdettavaksi.



KUVIO 1. AX5000-sarjan ohjausyksikkö liittämiseen (Beckhoff Automation Oy 2011c)

Moottoreiden ohjaamisessa käytetään Beckhoffin valmistamia kompakteja servo-drive-ohjausyksiköitä (KUVIO 1). Linjastossa on käytössä kolme identtistä ohjausyksikköä. Ohjausyksiköiden malli on AX5203, ja ne ovat kaksikanavaisia. Tämä mahdollistaa kahden moottorin yhdenaikaisen ohjaamisen yhdellä ohjausyksiköllä. Tästä syntyviä etuja ovat kompakti koko ja kustannustehokkuus. Tilan tarve sekä kustannukset vähenevät, koska tarvitaan ainoastaan yksi ohjausyksikkö kahta moottoria kohden.

Jokainen moottori on kytketty kahdella kaapelilla ohjausyksikköön. Toisella kaapelilla toteutetaan tehon syöttö ja toisella takaisinkytketään moottorin absoluuttianturi paikoitusta varten. Kaapelointiin käytetään Beckhoffin valmiita kaapeleita.

Moottorien tehonsyötössä käytetyissä kaapeleissa on moottorien päässä pikaliittimet, joiden lukitukset on toteutettu kierrateratkaisulla. Ohjausyksikön puoleiset päät liitetään manuaalisesti niille varatuille liittimille. Takaisinkytkennän toteuttavat kaapelit on varustettu molemmista päistään pikaliittimillä. Moottoreiden puoleisissa päissä liitin on vastaava tehon syöttöön verrattuna eli kierrelukituksella varustettu. Ohjausyksikköihin kaapelit liitetään valmiilla D-SUB-liittimillä. Kaapeleita tilattaessa tulee huomioida erityisen tarkasti tehonsiirtoketjujen aiheuttamat vaatimukset pituuksien ja liikkeiden osalta.

Ohjausyksiköt on varustettu EtherCAT-väyläliitännällä, jota käytetään ohjelmoinnissa, valvonnassa sekä laitteiden välisessä tietoliikenteessä. Tämä mahdollistaa joustavan ja nopean tavan kytkeä useita laitteita toisiinsa.

Lisäksi projektissa käytetyt ohjausyksiköt on varustettu AX5801-turvakorteilla. Turvakortti toteuttaa standardien EN ISO 13849-1:2006 sekä IEC 62061 mukaiset turvaluokitukset. Turvakortin tarkoituksena on mahdollistaa suora kytkentä käytettävään turvalogiikkaan. Turvalogiikan havaitessa vaarallinen tilanne, joko automaattisesti tai henkilön käyttämän turvalaitteen kautta, se lähettää signaalin ohjausyksiköiden turvakorteille. Ohjausyksikkö ohjaa moottorit turvalliseen tilaan mahdollisimman nopeasti ja jää odottamaan kuittausta turvalogiikalta. Koska kyseinen ratkaisu täyttää asiaankuuluvat turvamääräykset, ei normaalisti käytettävää jännitesyötön katkaisua ohjausyksiköiltä tarvitse suorittaa. (Beckhoff Automation Oy 2011b.)

3.2 Logiikka

Projektissa käytetään sulautettuja teollisuus-PC:itä, joilla ohjataan linjaston toimintaa. Linjastossa on kolme identtistä logiikkaa, jotka ovat mallia CX1020. Kyseiset logiikat on varustettu yhden gigahertsin Intel Celeron M -suorittimilla sekä 256 Mb DDR RAM -muistilla, jotka ovat laajennettavissa yhteen gigabittiin asti. Järjestelmät on optimoitu EtherNET-sovelluksia varten ja logiikat on varustettu kahdella RJ-45-liittimellä, joita voidaan käyttää järjestelmien verkottamiseen. Logiikat on varustettu Windows CE -käyttöjärjestelmillä, ja niihin voidaan liittää

näytöt, näppäimistöt ja hiiret, jolloin niitä voidaan käyttää tavallisten PC:ien tavoin. Teollisuussovelluksissa varsinaisen käyttöönoton jälkeen järkevin tapa tehdä muutoksia logiikkaan on käyttää sitä verkon yli. (Beckhoff Automation Oy 2011a.)

Logiikoita voidaan käyttää itsenäisinä logiikoina tai hajautusyksikköinä. Jokaiseen logiikkaan on kytketty tarvittava määrä I/O-terminaaleja. Tällaisia ovat esimerkiksi TwinSAFE-logiikkaväylä-, digitaaliset I/O- ja analogiset I/O-terminaalit. Lisäksi AS-i-väylään liitettäviä laitteita varten logiikka tulee varustaa tarvittavalla terminaalilla.

3.3 Muut toimilaitteet

Muita toimilaitteita tässä projektissa ovat kuljettimet, jotka annostelevat työstettävää materiaalia roboteille. Kuljettimien liikuttamisesta vastaavat oikosulkumoottorit, joita ohjataan taajuusmuuttajilla. Lisäksi kuljettimet varustetaan tilatiedon välittävillä antureilla, jotka kytketään logiikkaan AS-i-väylän välityksellä.

Taajuusmuuttajat saavat toimintakäskynsä suoraan logiikan I/O-pisteistä digitaalisesti, ja niiden nopeudet ovat ennalta määriteltynä. Turvallisuudesta vastaavat kuljettimien osalta Beckhoffin TwinSAFE-logiikkakortit, joilla ohjataan taajuusmuuttajien eteen asennettuja kontaktoreita sekä taajuusmuuttajien enable/stop-tietoja. Vaaratilanteen sattuessa logiikan lähdöt katkaisevat jännitteen kontaktoreiden keloista, jolloin kontaktorien kärjet avautuvat ja poistavat käyttöjännitteen taajuusmuuttajilta sekä siten myös moottoreilta. Lisäksi taajuusmuuttajan enable/stop-tieto poistetaan ja varmistetaan nopein mahdollinen taajuusmuuttajien liikkeen pysäytys.

Lisäksi käytetään myös pneumaattisesti toimivia sylintereitä, kääntöyksiköitä sekä tarttuvia. Pneumaattisia toimilaitteita ohjataan sähköohjatuilla venttiilipakoilla, jotka kytketään logiikkaan joko suoraan tai Asi-väylän välityksellä. Sylintereillä toteutetaan kappaleiden liikkeet toimilaitteelta toiselle sekä asettelut. Asettelu tulee toteuttaa vasteella, koska pneumaattisten laitteiden huonona puolena on pai-

koitettavuus ilman kokoonpuristumisen takia. Pneumaattisten laitteiden hyvänä puolena voidaan pitää alhaista hintaa verrattuna hydraulisiin tai sähköisiin järjestelmiin.

3.4 Turvajärjestelmä

Turvajärjestelmä toteutetaan käyttämällä laserskanneri-majakkaa, joka havaitsee poikkeamat ennalta määritetyllä alueella. Lisäksi majakkaan voidaan määrittää useampia alueita, joiden turvatasot poikkeavat toisistaan. Näin voidaan määrittää erilaisia vyöhykkeitä, joille astuttaessa linjasto voidaan kytkeä toimimaan eri tavoin. Tässä projektissa turvajärjestelmä on määritelty kahteen eri sisäkkäiseen vyöhykkeeseen, joista sisempi vyöhyke on jaettu kahteen osaan (LIITE 1). Majakan havaitessa ulommassa vyöhykkeessä poikkeavuuden linjasto asetetaan toimimaan vähennetyllä nopeudella. Mikäli sisemmässä vyöhykkeessä havaitaan poikkeavuus, ajetaan kyseinen linjaston puoli turvalliseen tilaan ja toiminta pysäytetään.

Linjaston ne osat, joita majakka ei valvo, suojataan aidalla. Teollisissa ympäristöissä suurempi tehoisilla ja nopeammilla roboteilla työtä suoritettaessa on järkevää suojata koko robotin ympäristö suoja-aidalla. Näin voidaan suojautua kappaleilta, joita mahdollisesti sinkoutuu robotin työskennellessä tai mikäli robotin ote irtoaa kappaleesta liikkeen aikana.

Linjaston päähän lisätään syöttöaukko kuljetusalustojen siirtoa varten. Syöttöaukko suojataan liukuovella, jonka tilaa valvotaan turvatuloilla. Kuljetusalustat siirretään vaunuissa vyöhykkeelle ja sieltä ulos.

Lisäksi tilaan sijoitetaan hätäseis-painikkeita niihin pisteisiin, joista ne ovat hyvin näkyvillä ja käytettävissä. Painikkeina tullaan käyttämään sienipainike-tyyppisiä painikkeita, jotka lukittuvat painettaessa ja vapautuvat kiertämällä. Tarvittaessa hätäseis-painikkeet voidaan varustaa avainlukituksella.

3.5 Käyttöliittymä

Linjastoon toteutetaan internetpohjainen käyttöliittymä, jota voidaan käyttää mistä tahansa verkkoon kytketystä työasemasta. Rajapintojen toteutuksessa ohjelmointikielenä on C++ Beckhoffin logiikoiden osalta ja internetpohjainen käyttöliittymä toteutetaan käyttämällä PHP-ohjelmointiympäristöä.

Kiinteän, linjaston tiloihin sijoittuvan käyttöliittymän toteutuksesta ei viikolle yhdeksän mennessä ollut saatu informaatiota. Yleisiä ehtoja käytettävyydelle ja toiminnalle oli asetettu ainoastaan helpon käytön ja soveltuvuuden valmistettavien tuotteiden suhteen.

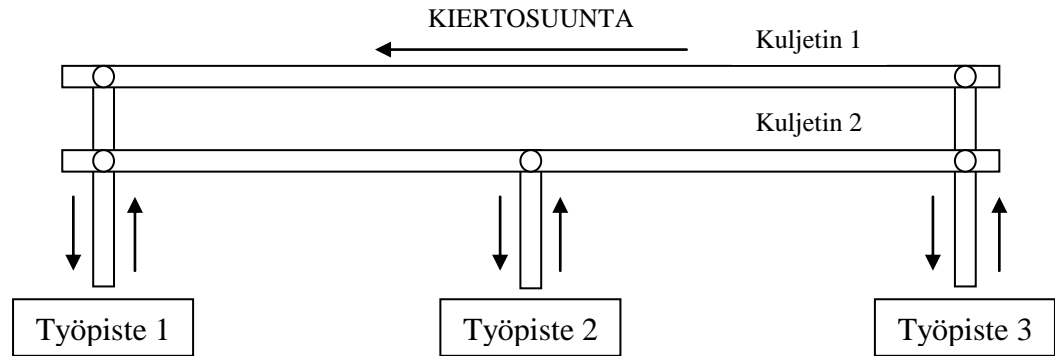
3.6 Kuljetusalusta

Hihnalla kuljetetaan alustoja työstettäville kappaleille. Näitä kutsutaan konepajateollisuudessa jigeiksi. Jigi suunnitellaan työstettävää kappaletta ja kuljettimia silmällä pitäen.

Mikäli työstettävään kappaleeseen tulee muutoksia, ainoastaan kappaletta varten suunniteltu alusta tarvitsee muutoksia, ei linjasto itsessään. Näin linjastolla voidaan tuottaa myös pieniä sarjoja kustannuksien ja muutostöiden määrän pysyessä alhaisina.

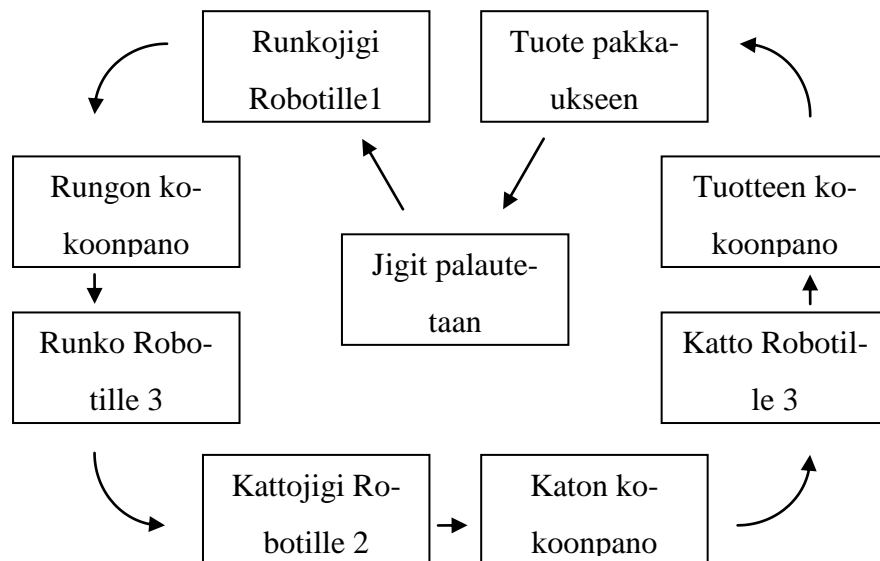
3.7 Toiminta

Linjaston tarkoituksena on tuottaa valmiista, puisista osista kasattu lintulauta. Jokaisella sankyo-yksiköllä on oma kappalevarastonsa, joka täytetään kappaleilla, joista valmis lintulauta halutaan valmistaa. Kappaleet eroavat toisistaan materiaalin ja esikäsittelyn suhteen ulkomuodon pysyessä samana.



KUVIO 2. Linjaston työkierto

Ennen linjaston käynnistämistä tulee suorittaa varastojen tarkastus. Tähän kuuluu varmistaa, että tuotantosolut on panostettu oikeanlaisilla kappaleilla sekä tuotantolinjan syöttöyksikkö on varustettu riittävällä määrällä kuljetusalustoja. Silmämääräinen tarkastus linjaston kunnosta tulee myös suorittaa virheiden välttämiseksi.



KUVIO 3. Työkierto

Työkierto (KUVIO 3) käynnistetään käyttöliittymästä. Työkierron alussa linjastoon syötetään runkorakenteen kuljetusalusta. Alusta siirretään kuljetinta 1 (KUVIO 2) pitkin kuljettimen vasempaan reunaan työpisteen 1 kohdalle, josta se männänvarretonta sylinteriä käyttäen siirretään kuljettimelle 2. Kuljettimen 2 ja työpisteiden välissä ovat lyhyet kuljettimet kappaleiden siirtoa varten. Alusta siir-

retään työpisteeseen 1 ja alustalle kootaan lintulaudan runko. Kun runko on valmis, siirretään alusta runkoineen takaisin kuljettimelle 2. Kuljetin 2 vie alustan työpisteeseen 3, johon se jää odottamaan seuraavaa työvaihetta.

Kuljettimelle 1 syötetään kattorakenteen kuljetusalusta, joka siirretään kuljettimelle 2. Kuljetinta 2 pitkin kattorakenteen alusta siirretään työpisteeseen 2. Alustalle kootaan kattorakenne. Kokoamisen jälkeen kuljetusalusta kattorakenteineen siirretään kuljettimelle 2. Kuljetin 2 vie kattorakenteen työpisteeseen 3, jossa se asennoidaan edellisen, jo aikaisemmin työpisteeseen 3 kuljetetun runkorakenteen taakse. Työstöyksikkö sijoittaa jälkimmäisenä tulleen kattorakenteen rungon päälle, josta ne siirretään myöhemmin suunniteltavaan pakkausjärjestelmään. Kuljetusalustat siirretään takaisin työkiertoon kuljettimelta 2 työpisteen 3 päädystä.

4 YLEISIMMÄT RATKAISUT SÄHKÖPIIRUSTUKSISSA

Opinnäytetyössä käydään läpi yleisimpiä sähköpiirustuksissa käytettäviä ratkaisuja. Vaikka sähkösuunnittelussa ei ole varsinaisia ohjeita, voidaan ohjenuorana pitää mahdollisimman selkeää toteutuksesta. Suunnittelijan tulee pitää mielessään kuvien kohde ja niiden lukijat. Mikäli kuvien toteutus on sekava tai puutteellinen, hidastaa se asentajien työtä ja saattaa johtaa tyytymättömiin yhteydenottoihin asiakkaan taholta. Mikäli toteutus sähköpiirustusten pohjalta suoritetaan oman yrityksen asentajan toimesta, ei tilanne välttämättä ole vakava, mikäli asennus tapahtuu yrityksen tiloissa. Käyttöönottovaiheessa selkeillä sähköpiirustuksilla vältetään mahdollisilta sekaannuksilta sekä yhteydenotoilta. Pahimmassa tapauksessa asentaja suorittaa työtään ulkomailla vailla luotettavaa kommunikaatiokanavaa suunnittelijan kanssa ja työt saattavat seisahtua.

Lahden ammattikorkeakoulussa on käytössä CADS Planner Electric -ohjelmisto, jolla voidaan tuottaa sähköpiirustuksia sekä sitoa niistä tiedot tietokantaan raportointia ja listojen tuottamista varten. Samalla voidaan tuottaa kattava kirjasto niistä komponenteista, joita ei valmiina ohjelmiston kirjastossa ole. On tyypillistä, että käytetään samantyyppisiä, hyväksi havaittuja komponentteja useisiin projekteihin. Siksi onkin tehokasta toteuttaa laadukas kirjasto käytetyistä komponenteista, minä jälkeen usein käytetyt komponentit voidaan lisätä sähköpiirustuksiin kirjastosta käyttämättä aikaa niiden luomiseen. Mikäli määrätietoista kirjaston kartuttamista jatketaan, tarvitsee suunnittelijan harvoin käyttää aikaa yksittäisten komponenttien piirtämiseen.

Usealla Päijät-Hämeen alueella sijaitsevalla yrityksellä on käytössään CADS-ohjelmisto. Tästä syystä on yritysten ja koululaitoksen etu, että samoja työkaluja, joita käytetään työelämässä, käytetään myös opiskelujen aikana.

4.1 Piirustuskenttä

A muutos	S		Lahden Ammattikorkeakoulu Ståhlberginkatu 10 15110 LAHTI	PIIRIKAAVIO ESIMERKKI	Suunn. pöj. 21.3.2011 Pöj. Pöj.	Kokonaisuus OPINNÄYTE Laji: 1/1	Sähkösello MCC	Työnumero 100	S	
										Piiirustusnumero

KUVIO 4. Piirustuspohjan nimiötiedot

Sähköpiirustusten tekeminen aloitetaan täyttämällä piirustus pohjan nimiötiedot (KUVIO 4). Vasemman alareunan tyhjiin alueeseen voidaan tuoda suunnittele van yrityksen logo. Toiseen kenttään vasemmalta merkitään asiakkaan tiedot. Kolman teen kenttään vasemmalta merkitään piirustuksen tyyppi sekä lisäinformaatiota. Mikäli piirustus toteutetaan piirtämällä eri piirustustyyppit eri tiedostoihin, ei li säinformaatio ole välttämättä tarpeen. Tällaista toteutusta voidaan käyttää piirus tusten selaamisen helpottamiseksi, mikäli kyseessä on suuri projekti ja piirustusten määrä on suuri.

Pohjan oikean laidan pieniin kenttiin merkitään piirustusten tekijä, tarkastaja, suunnittelija, lehtien määrä, päivämäärä, positio, työnumero, kokonaisuus sekä piirustusnumero. Näistä tiedoista tärkeimpiä ovat kokonaisuus, positio sekä piirus tusnumero. CADs-sovelluksella voidaan tuottaa yksinkertaisesti luetteloita, mikäli piirustusta tehdessä tiedot päivitetään tietokantaan. Tietokantaa päivitettäessä ja luetteloita tulostettaessa CADs-sovellus käyttää automaattisesti kokonaisuus- ja positiotietoja luetteloissa. Mikäli kentät jätetään täyttämättä, luetteloissa ei näy tarvittavia tietoja, joilla luettelot voidaan identifioida tiettyyn piirustukseen.

Positiomerkintä indikoi kaapin tai kotelon numeroa. Merkin nässä käytetään eng lannin kielestä tulevia lyhenteitä. MCC (Motor Control Cabinet) sisältää mootto rin ohjaukseen käytettäviä komponentteja. LCC (Logic Control Cabinet) sisältää logiikan komponentteja. CP (Control Panel) tarkoittaa ohjauspaneelia tai vastaa vaa käyttöliittymää. JB (Junction Box) tarkoittaa riviliitinkotelo a tai -rasiaa. Li säämällä käytettävän lyhenteen perään numeron luodaan jokaiselle piirrettävälle kohteelle oma, uniikki tunnus.

4.2 Kuvatunnukset

Piirustusten lukemisen helpottamiseksi voidaan käyttää kuvatunnuksia selkeyttämään kokonaisuutta. Tähän on erityisesti tarvetta suurissa projekteissa, joissa kuvien määrä voi nousta useaan sataan kappaleeseen. Seuraavassa esimerkkilistassa on asiantuntija-apuna toimivassa yrityksessä käytössä oleva lista. Kolme ensimmäistä merkkiä korvataan projektin työnumerolla.

- XXX-01: piirustusluettelo
- XXX-02: pääkaavio
- XXX-03: pääpiirikaavio
- XXX-04: ohjauspiirikaavio
- XXX-05: varalla oleva numero
- XXX-06: digitaalitulot
- XXX-07: digitaalilähdöt
- XXX-08: analogiatulot
- XXX-09: analogiatulot
- XXX-10: absoluutti- ja pulssianturit
- XXX-11: erikoiskytkennät
- XXX-12: johdotuskaaviot
- XXX-13: maadoituskaaviot
- XXX-14: väyläkaaviot
- XXX-15: layout-kuvat, keskukset
- XXX-16: layout-kuvat, kotelot
- XXX-17: kojeluettelot
- XXX-18: kaapeliluettelot
- XXX-19: kilpiluuettelot
- XXX-20: varalla, esimerkiksi väyläkaaviot.

Valmiita piirustuksia tulostettaessa projektikansion päälle tulostetaan sisällysluettelon kaltainen lista ja kansio varustetaan tarvittavalla määrällä välilehtiä.

4.3 Pääpiirikaavio ja piirikaavio

Pääpiirikaaviossa (LIITE 2) esitetään jännitteenjako laitteille sekä moottorien kytkennot apulaitteineen. Virtapiirin johtimet tuodaan piirustuspuhjan vasemmasta alareunasta. Johtimen päihin merkitään vaihe-, nolla- ja maadoitusjohtimien tunnuksukset sekä johtimien vasemmalle puolelle pääjännite ja taajuus. Mikäli sähkönsyöttö tulee toisesta keskukselta, voidaan johtimen päät rajata katkoviivalla piirretyn alueen sisään ja merkitä rajauksen sisäpuolelle keskuksen tunnus.

Johtimia jatketaan kuljettamalla niitä ylös piirustuspuhjan yläreunaan ja yläreunasta oikealle. Pääkytkin voidaan piirtää joko pystysuoraan linjaan tai piirtämällä johtimiin lenkki ja kuljettamalla johtimet pääkytkimen koskettimien kautta. Nolla- ja maadoitusjohtimet voidaan kuljettaa joko samassa muiden johtimien kanssa tai piirtää ne erikseen piirustuspuhjan alimpaan kolmannekseen. Esimerkkikuvassa (LIITE 2) on käytetty monimutkaista menetelmää mallintamaan käsiteltyä piirustustapaa.

Vaihejohtimet piirretään kattamaan koko piirustuspuhjan yläosa. Vaihejohtimista piirretään johdotukset laitteiden etukojeille, joista jatketaan piirto varsinaisille kojeille. Esimerkkikuva on toteutettu seuraavassa järjestyksessä: teholähteen etukoje ja teholähde, varalla oleva etukoje, moottorilähdöille tarkoitettu etukoje ja turvajärjestelmään kytketty kontaktori, pistorasian sulake, pistorasian henkilojsuojauslaite sekä pistorasia. Mikäli kaikki laitteet eivät mahdu yhden sivun piirustuspuhjalle, voidaan johdotusta jatkaa seuraavalle sivulle. Mikäli vaihejohtimet jatketaan muille sivuille, niiden merkintä muuttuu etukojeen mukaan: pääkytkimen tai kuormanerotuksen jälkeiset vaihejohtimet saavat tunnuksukset 1L1, 1L2, 1L3 ja tämän jälkeisen etukojeen lävitse kulkevat vaihejohtimet saavat tunnuksukset 2L1, 2L2 ja 2L3. Vaihejohtimet voidaan jatkaa merkitsemällä lähdeseivulle vaihejohtimien päihin asianmukaiset vaihetunnukset ja jatkamalla kohdeseivulla johtimien piirtoa. Johtimet piirretään kohdeseivun yläreunaan ja johtimien vasempaan päähän kirjataan johtimien tunnuksukset.

Piirikaavion piirtämistä jatketaan piirtämällä esimerkiksi moottorikäytöt seuraaville sivuille. Johtimet piirretään edellä kuvatulla tavalla sivun yläreunaan. Yläreunan johtimista piirtämistä jatketaan piirtämällä johtimet pystysuoraan etukojeiden kautta toimilaitteelle. Esimerkkikuvassa (LIITE 3) on esitetty jarrullisen, taajuusmuuttajaohjatun ja turvakytkimellä varustetun moottorin sähköpiirustus.

Laitteiden takaisinkytkentä on esitetty tilanteen selventämiseksi erillisiin kenttiin lehtien vapaille alueille. Takaisinkytkentätietojen esittäminen piirikaavioissa ei ole pakollista, mutta suotavaa. Tämä helpottaa asennustyötä vähentämällä kuvien selaamisen tarvetta. Samalla saadaan nopeasti yleiskuva niistä laitteista, jotka takaisinkytketään logiikalle. Takaisinkytkentätieto voitaisiin myös esittää viittauksena toimilaitteen tai kojeen varsinaisilla koskettimilla. Tätä voidaan käyttää tapauskohtaisesti, mutta usein tällainen merkintätapa ei selkeytä esitystä vaan informaatio häviää kuvien yksityiskohtien joukkoon. Lisäksi yleinen ohjenuora on toteuttaa kaikki kuvat samalla menetelmällä. Tällä tarkoitetaan: mikäli yhtä piirtomenetelmää käytetään ensimmäisessä piirustuksessa, tulee samaa menetelmää käyttää kaikissa piirustuksissa. Sama ohje koskee etukojeita, toimilaitteita sekä sähkösyöttöä.

4.4 Kojetunnukset, position mukainen merkintä

Jokaisella kojeella tulee projektissa olla oma tunnus. Täydellinen kojettunnus esitetään seuraavalla tavalla: =kokonaisuus+sähköpositio-toimilaittepositio-kojettunnus. Koska täydellisen tunnuksen esittäminen jokaisessa kuvassa olisi hyvin raskas esitystapa, lyhennetään sitä merkitsemällä kokonaisuus ja sähköpositio ainoastaan piirustuskenttiin. Käytäntö on yleinen, ja esimerkiksi CADS-sovellus poimii kyseisistä kentistä tiedot automaattisesti jokaiselle kojeelle.

Position mukaisen merkinnän kojeet ja kaapelit saavat, mikäli koje on suorassa yhteydessä johonkin toimilaitteeseen, jolle on määritetty oma positio. Selvyiden vuoksi positio tulisi merkitä kyseisen laitteen piirustukseen selkeästi. Mikäli positiota ei ole merkitty piirustukseen erikseen mutta kojeiden tunnuksen edessä on

viiva, voidaan olettaa toimilaitteen tunnuksen sisältyvän kojettunnukseen. Esimerkissä (LIITE 3) esitetty taajuusmuuttaja saa tunnuksen -U1 ja muissa kuvissa kyseiseen taajuusmuuttajaan viitataan tunnuksella 10M1U1. Sama menetelmä pätee kaikille laitteille, kojeille ja kaapeleille. Esimerkissä (LIITE 5) kojeisiin viitataan toimilaite-kojetunnus- yhdistelmämerkinnällä.

Mikäli kojetta ei ole merkitty kuuluvaksi tiettyyn positioon, voidaan sen eteen merkitä 0 tai 24. Kyseisillä merkinnöillä erotetaan käytettävä jännitetaso. Piirustuksissa 0 merkitsee vaihe- ja nollajohtimen tai vaihejohtimien välistä jännitettä ja 24 merkitsee 24 voltin DC-ohjausjännitettä. Jälkimmäistä merkkäusmenetelmää käytetään yleensä logiikka- ja ohjausvirtapiirikuviissa (LIITE 4).

Sähkölaitteille kuuluu myös kirjaintunnus, josta voidaan määritellä laitteen toiminta. Seuraavassa taulukossa (TAULUKKO 1) on listaus niistä tunnuksista, jotka ovat maassamme käytössä.

TAULUKKO 1. Suomessa käytetyt sähkölaitteiden tunnuksiset (Valtanen 2008, 837–839)

Tunnus	Yksikön laatu	Esimerkkejä
A	Laiteyhdistelmät	Funktiopiiri, nopeudensäätäjä
B	Muuntimet muista suureista sähkösuureiksi.	Takometri, Hall-anturi
C	Kondensaattorit	
D	Viivästyslaitteet, muistilaitteet	Rekisteri, pulssilaskuri
E	Sekalaiset	Lämmitin, valaisin
F	Suojalaitteet	Varoke, johdonsuojakatkaisin, moottorisuojakytkin
G	Generaattorit, syöttölaitteet	Tasajännitelähde, oskillaattori
H	Merkinantolaitteet	Merkkilamppu, summeri
K	Releet, kontaktorit	Apurele, aikarele
L	Induktiokäämit	Kela, kuristin
M	Moottorit	
N	Analogiset mikropiirit	Operaatiovahvistin
P	Mittaus- ja testauslaitteet	Laskuri, osoitinkello, piirturi
Q	Pääpiirin kytkinlaitteet	Kuormanerotin, tehoerotin
R	Vastukset	Etuvastus, jarruvastus
S	Ohjauspiirin kytkinlaitteet	Anturi, apukytin, painike
T	Muuntajat	Apumuuntaja, mittamuuntaja
U	Modulaattorit, muuntajat	Taajuusmuuttaja, invertteri
V	Putket, puolijohteet	Diodi, tyristori, optinen erotin

W	Siirtotiet, antennit	Johdin, kaapeli, valojohto, dipoli
X	Liittimet, pistokytkimet	Riviliitin, maadoitusliitin, pistotulppa, pistorasia
Y	Sähkömekaaniset laitteet	Jarru, magneetti, moottoriventtiili, magn.venttiili
Z	Päätteet, suodattimet, tasaimet	Johdantasain, kompanderi, ki-desuodatin

Tunnuksen lisäksi kojeeseen tulisi mahdollisuuksien mukaan lisätä myös muita tietoja. Esimerkkejä tällaisista tiedoista ovat valmistaja, tyyppi, virta-arvot ja muut kojeeseen liittyvät tiedot, jotka vaikuttavat asentajan työhön. Kojeen täydelliset tiedot käydään lävitse kojeluettelossa.

4.5 Ohjausvirtapiiri

Ohjausvirtapiirissä kuvataan ohjauksessa käytettävät komponentit sekä niiden jännitteensyöttö (LIITE 5). Jännitekiskot piirretään sivun ylä- ja alalaitoihin ja niiden väliin piirretään käytettävät komponentit. Ohjausjännitetaso merkitään ylemmän kiskon päälle. Tarvittaessa johtimiin lisätään viitteet, joiden piirtoa jatketaan muilla lehdillä. Viitteet sisältävät tiedot kohdelehdessä ja niissä voidaan ilmoittaa tiedot esimerkiksi seuraavalla tavalla: (tiedoston nimi)kohdelehti/virtakisko:rivitunnus.

4.6 Logiikka

Piirustuksissa esitetään logiikan kortit sekä niihin liitetyt laitteet (LIITTEET 4, 6). Logiikan kortti esitetään piirustuspuhjan yläreunassa, jonka vasemmassa laidassa sijaitsevaan kenttään merkitään tarvittavat tiedot kortista. Tällaisia tietoja ovat kortin tyyppi, syöttävä sulake, korttipaikka sekä osoite. Logiikan lähtökortilla (LIITE 4) ohjataan toimilaitteita suoraan tai välireleiden kautta. Välireleiden käytöllä pyritään galvaanisesti erottamaan toimilaite logiikan kortista. Tällä toimenpiteellä vältetään esimerkiksi kelojen jännitepiikit, jotka saattavat rikkoa lähtökortin lähdön. Kaikissa tapauksissa ei välirele ole välttämätön. Esimerkiksi taajuusmuuttajan ohjauksesta ei aiheudu jännitepiikkejä, jotka rikkoisivat kortin lähdön.

Yksittäinen kortti voi sisältää 32 tuloa tai lähtöä. Kuitenkin yhdellä sivulla esitettävä lähtöjen tai tulojen määrä on järkevää pitää maksimissaan kahdeksassa. Kor-

tin piirroksessa jokaiselle lähdölle tai tulolle numeroidaan oma liitin sekä osoitteen numero. Näiden yläpuolelle vapaaseen kenttään merkitään lyhyt kuvaus toiminnasta.

Sivun alemmassa osassa esitetään kytkettävät laitteet, jotka erotetaan katkoviivalla keskuksen ulkopuolelle. Kaapelit varustetaan kaapelimerkinnällä ja kammataan auki molemmista päistä. Kaapelikampaukseen merkitään johtimen numerot. Kaapelimerkintä pitää sisällään kaapelin tunnuksen sekä kaapelin tyyppin.

5 SUUNNITTELUPROSESSI

Automaatioteollisuudessa suunnitteluprosessilla usein kuvataan kokonaisuutta, jonka tuloksena tuotetaan jokin laite, linjasto tai ratkaisu, joka toimitetaan asiakkaalle. Tavallisemmin tällaista prosessia kutsutaan projektiksi, jonka toteuttamiseen on määrätty resursointi. Mukana voi olla ihmisiä, jotka työskentelevät projektin parissa lyhyen ajanjakson tai vaihtoehtoisesti mukana on ihmisiä koko projektin ajan. Asiakkaan kannalta projekti on ainutlaatuinen, kun taas toteuttavan organisaation kannalta projekti on kertaluontoinen työsuoritus, jonka sisältö toistuu usein pienin muutoksin.

Suunnitteluprosessin aikana käydään systemaattisesti läpi työvaiheet, jotka johtavat valmiiseen tuotokseen. Suunnitteluprosessista vastaa tehtävään nimitetty projektipäällikkö, joka on vastuussa suunnitteluprosessin eli projektin läpiviennistä johtoryhmälle, joka koostuu asiakkaan sekä tuottavan yrityksen edustajista. (Kettunen 2009, 16–17.)

5.1 Tarve

Suunnitteluprosessi käynnistyy yleensä tarpeesta toteuttaa jokin ratkaisu olemassa olevaan ongelmaan tai helpottaa nykyistä tilannetta. Tällaisia syitä voivat olla markkinoiden vaatimukset, asiakkaan toivomus tai lainsäädännön muutokset. Kun tarve tiedostetaan, se markkinoidaan muille organisaation työntekijöille. Tässä vaiheessa syntyy yleensä kuvaus tarvittavasta toiminnosta tai laitteesta. Toiminnoista vaaditaan löyhä listaus, joka käydään läpi organisaatiossa. Mikäli toiminnot voidaan ja halutaan toteuttaa, on tarve suunnittelun aloittamisesta täytetty. (Karls-son & Marttala 2001, 14–15.)

5.2 Tarjouspyyntö ja tarjous

Kun organisaatio havaitsee tarpeen, suunnitteluprosessi etenee tarjousvaiheeseen. Asiakas lähettää tarjouspyynnön, johon vastataan tarjouksella. Tarjouspyynnössä tulisi olla vaatimuslista laitteen ensisijaisista, ja mahdollisista toissijaisista toi-

minnoista. Kun tarjouspyyntöön vastataan, siihen määritetään ne ehdot, joita tullaan noudattamaan työn suorituksen aikana, kuten resurssit, aikataulu, maksuehdot sekä hinnoittelu. Tarjoukseen määritetään vastuuhenkilö, joka toimii projektipäällikkönä. Kun tarjouksen saaja vastaa tarjoukseen hyväksyvästi, syntyy osapuolten välille sitova sopimus. (Vaasan Aikuiskoulutuskeskus 2006.)

Jotta tarjous olisi sitova, tulisi se tavaran määrän, laadun sekä hinnan suhteen olla yksilöity. Asiakkaan tulisi olla mahdollista hyväksyä tarjous sellaisenaan. Mikäli nämä ehdot eivät täyty, ei tarjous ole sitova. On järkevää ilmoittaa myös muita tietoja tarjouksessa, kuten hinnoittelu tarjoukseen kuulumattomista työsuorituksista, korvaus matkakuluista sekä mahdollisista muista kuluista. (Vaasan Aikuiskoulutuskeskus 2006.)

Jotta osapuolten välille syntyisi sopimus, vastauksen tulee olla tarjouksen sisältöä vastaava ja oikea-aikainen. Mikäli vastaaja tekee muutoksia tarjoukseen, katsotaan se kieltäväksi vastaukseksi alkuperäiseen tarjoukseen ja vastaajasta tulee tarjouksen antaja. Mikäli tarjouksessa ei ole määritelty tarjouksen voimassaoloaika, riippuu voimassaoloaika tarjouksen muodosta. Mikäli tarjous on suullinen, se tulee hyväksyä heti. Muussa tapauksessa tarjous katsotaan hylätyksi. Mikäli tarjous toimitetaan kirjeitse tai sähköpostilla eikä siinä ole määritelty voimassaoloaika, tulee tarjoukseen vastata kohtuullisen ajan kuluessa. Mikäli tarjouksen voimassaoloaika on umpeutunut, katsotaan tarjouksen hyväksyminen vastaajan tekemäksi uudeksi tarjoukseksi. (Vaasan Aikuiskoulutuskeskus 2006.)

5.3 Projektipäällikkö

Projektipäällikkö valitaan hoitamaan projektia ja vastaamaan projektin valmistumisesta, tavoitteissa pysymisestä ja sekä aikataulullisesta että taloudellisista tavoitteista. Projektipäälliköllä tulee olla kykyjä johtaa ja ohjata ihmisiä. Hyvä esiintymiskyky sekä neuvottelutaidot edesauttavat projektipäällikköä hyvään lopputulokseen. Projektipäällikkönä toimiva henkilö saattaa kohdata epäonnistumisia sekä vastustusta. Tästä syystä onnistumiseen johtava työ vaatii hyvää itsetuntoa. Pro-

jektipäällikkönä toimivalla henkilöllä tulee olla valmiuksia vastata kieltävästi tilanteen sitä vaatiessa. (Kettunen 2009, 29–31.)

Projektin alku on erityisen kiivastempoista aikaa projektipäällikölle, jonka vastuulla on projektisuunnitelman tuottaminen ja asiantuntijoiden kanssa keskusteleminen. Myös arviointi kustannuksista sisällytetään projektisuunnitelmaan, joka vaatii henkilöstön ajan- ja tarvikkeiden käytön arviointia. (Kettunen 2009, 32.)

Projektipäällikkö vastaa raportoinnista sidosryhmille. Tällaisia ovat muuan muassa tilaaja, tilaajan edustaja, yrityksen sisäinen johto ja projektiin osallistuva henkilöstö. Isoissa, näkyvissä projekteissa saattaa median kiinnostus aiheeseen herätä ja projektipäällikön tehtävä on informoida myös mediaa. (Kettunen 2009, 171–172.)

Projektipäällikkö on vastuussa projektissa toimivista alaisistaan ja heidän työpanoksistaan. Hyvin motivoitunut ja informoitu työntekijä suorittaa työnsä tehokkaammin sekä pystyy itse määrittämään paremmin ajankäytöllisiä asioita. Projektipäällikkö ei välttämättä ole työntekijöiden suora esimies, mikä saattaa vaikuttaa työpanokseen. Tästä huolimatta hyvän esimiehen toimintamallit soveltuvat projektipäällikön työhön. Onkin siis tehokkaampaa järjestää tapaamisia, informoida työntekijöitä hyvin, kertoa tavoitteista sekä kuunnella henkilöstön ajatuksia projektin suunnasta. Työntekijä tuntee itsensä motivoituneeksi ja tärkeäksi projektin etenemisen kannalta. (Kettunen 2009, 34.)

5.4 Sopimus

Jokaisesta työstä laaditaan aina kirjallinen sopimus. Kirjallinen sopimus on dokumentti, joka laaditaan projektin alussa ja siihen palataan ainoastaan, mikäli toteutuksessa tai luovutuksessa kohdataan ongelmia. Ongelmatilanteita varten sopimukseen laaditaan toimenpiteet, joiden mukaisesti toimitaan. Ilman sopimusta riitatilanteet voivat olla haastavia selvittää. Sopimuksen laatiminen molempia osapuolia tyydyttäväksi saattaa viedä aikaa, joka tulee huomioida aikataulutuksessa. (Kettunen 2009, 86.)

Sopimuksesta tulisi löytyä ainakin seuraavat asiat:

- osapuolet
- tavoite
- kuvaus projektin aikana syntyvistä tuloksista
- organisaatio ja yhteyshenkilöt
- aikataulu ja viivästymisestä seuraavat toimenpiteet
- hinta, maksuaikataulu sekä maksuehdot
- raportointikäytännöt
- projektin päättäminen ja työn luovutus
- työn laatu ja takuu
- työn omistus- ja immateriaalioikeudet
- mahdollinen rekrytointikielto
- alihankkijatoimijoiden määrittäminen
- projektin keskeytys ehdot
- salassapitosopimukset
- sovellettava laki ja erimielisyyksien ratkaiseminen
- paikka, aika sekä allekirjoitukset.

Tarvittaessa voidaan myös tehdä myös viittauksia projektisuunnitelmaan, jolloin kaikkea ei ole välttämätöntä kirjata sopimukseen (Kettunen 2009, 87–89).

5.5 Projektisuunnitelma

Projektisuunnitelma on järkevää laatia aikaisessa vaiheessa, mahdollisesti jo ennen päätöksentekoa projektin aloittamisesta. On todennäköistä, ettei kaikkea tietoa ole käytettävissä projektisuunnitelman ensimmäistä versiota tehtäessä ja siihen voidaan palata myöhemmin. On kuitenkin tärkeää voida esittää sidosryhmille dokumentaatiota projektin suunnitelmallisesta etenemistavasta. Projektisuunnitelman laajuus korreloi suoraan projektin laajuuteen. Pientä projektia toteutettaessa suunnitelma voi olla muutaman sivun pituinen tiivis paketti, josta ilmenee tärkeimmät asiat. Toisaalta, projekti voidaan pilata jo ennen varsinaisen työn alkamista puut-

teellisen suunnittelun takia. Tästä syystä tuleekin muistaa sanonta: ”Hyvin suunniteltu on puoliksi tehty”. (Kettunen 2009, 91–93.)

5.5.1 Projektisuunnitelman sisältö

Projektisuunnitelma sisältää dokumentointia useasta lähteestä, ja sen rakenne voi olla esimerkiksi seuraavanlainen:

- tiivistelmä
- sisällysluettelo tarvittaessa
- johdanto
- tavoitteet
- vaatimusmäärittely ja rajaukset
- projektiin osallistuva organisaatio
- resurssit ja suunnitelma
- aikataulu
- kustannusarviot
- riskit ja niiden hallinta
- tiedottaminen ja dokumentaatio
- tulosten luovuttaminen ja projektin päättäminen
- sanasto ja termit.

Projektisuunnitelmaan tulee lähes väistämättä muutoksia työn aikana. Nämä muutokset voidaan kirjata suoraan projektisuunnitelmaan tai kirjata muutokset erilliseksi liitteiksi. Muutoksien kirjaaminen suoraan projektisuunnitelmaan korvaamalla vanha on usein järkevämpi tapa toteuttaa muutokset. Tehdyistä muutoksista on järkevää tehdä versiolista, joka liitetään projektisuunnitelman alkuun. Päivitetty projektisuunnitelma muutoksineen tulee jakaa sidosryhmille. (Kettunen 2009, 98–99, 127–128.)

5.5.2 Tiivistelmä, johdanto, tavoitteet, vaatimusmäärittely ja rajaukset

Tiivistelmässä käydään läpi projektin tavoitteet, vaatimusmäärittelyt, aikataulu ja resurssit. Hyvän tiivistelmän pituus on noin yksi tai kaksi sivua. Kaikki projektisuunnitelman lukijat eivät välttämättä tarvitse kaikkea tietoa, esimerkiksi asiantuntijat tai henkilöt, jotka toteuttavat pienen osan projektista. Tiivistelmä on tällaisille henkilöille riittävä tiedonlähde, jolla voidaan selvittää projektin tarkoitus ja suunta. (Kettunen 2009, 99.)

Johdannossa käydään läpi projektin taustat sekä toimintaympäristö. Tämä auttaa projektiin osallistuvien työntekijöitä hahmottamaan asiakkaan tarpeita. Samalla johdannossa käydään läpi tiedot asiakkaasta ja asiakkaan edustajista. (Kettunen 2009, 99–100.)

Projektin vaatimusmäärittely ja rajaukset ovat projektisuunnitelman avainkohtia. Tässä osassa määritetään ne tiedot, joilla projektia lähdetään viemään eteenpäin. Onnistuneen projektin läpiviemiseen vaaditaan tarkasti määritetyt rajat, joita voidaan tukea kuvin ja toimintakaavioin. Teknisen laitteen kehittämisessä vaatimusmäärittelyn yhdeksi osaksi voidaan liittää toimintakuvaus. Vaatimusmäärittelyn avulla voidaan samalla määrittää projektin myös suorittamiseen tarvittavan henkilöstön määrä ja mahdolliset asiantuntijat. (Kettunen 2009, 100–103.)

5.5.3 Organisaatio

Projektin vaatiman organisaation määrittelyssä voidaan käyttää apuna vaatimusmäärittelyä. Samalla määritetään projektin johto sekä vastuuhenkilöt osa-alueittain. Kaikille osa-alueille tulee määrittää vastuuhenkilöt. Mikäli vastuuhenkilöitä ei ole määritelty, jää vastuu tekemisestä projektipäällikön kannettavaksi. Isoissa projekteissa tulee olla erikseen nimetty ohjausryhmä, joka valvoo ja ohjaa projektin etenemistä ja jolle projektipäällikkö raportoi projektin etenemisestä. Pienissä ryhmissä tämä ei ole välttämätöntä vaan ohjausryhmän tehtävän voi asiakas, asiakkaan edustaja tai projektipäällikön esimies. (Kettunen 2009, 103–105.)

5.5.4 Projektioorganisaatiomallit

Projektin alkuvaiheessa on valittava käytettävä organisaatiomalli. Valinta voidaan suorittaa puhtaan projektioorganisaatio-, matriisiorganisaatio- ja virtuaaliorganisaatiomallin välillä. (Karlsson & Marttala 2001, 57–59.)

Puhdas projektioorganisaatiomalli lienee yleisin suunnittelua harjoittavien yritysten kannalta. Siinä osallistujat työllistetään kokopäiväisesti projektin pariin ja usein samoihin tiloihin. Raportointi tapahtuu suoraan projektipäällikölle. Mallin haittapuoliin lukeutuu projektien ulkopuolella tapahtuva työllistäminen. Mikäli projekteja ei ole käynnissä, on työllistäminen hankalaa. (Karlsson & Marttala 2001, 57.)

Matriisiorganisaatiomallissa (KUVIO 5) työntekijällä on jokin vakituinen tehtävä ja esimies. Projektin käynnistyessä työntekijä osallistuu projektiin omien, vakituisten työtehtäviensä ohella. Näin työntekijällä on kaksi esimiestä, joille raportoidaan työsuorituksista. Omalle, vakitukselle esimiehelle raportointi tapahtuu suoraan ja projektin päällikölle epäsuorasti. Mikäli vakituisen esimiehen ja projektipäällikön välinen kommunikaatio ei toimi, on pahimmassa mahdollisessa tapauksessa projektin toteutuminen vaarassa. Toisaalta, vahvuutena voidaan mainita vakituisen esimiehen kyky valita oikea henkilö oikeaan tehtävään. Lisäksi, projektien ulkopuolella työntekijän työllistyminen ei ole ongelma. (Karlsson & Marttala 2001, 58.)

		Esimies 1		Esimies 2		Esimies 3
Projekti 1		Työntekijä		Työntekijä		Työntekijä
Projekti 2		Työntekijä		Työntekijä		Työntekijä
Projekti 3		Työntekijä		Työntekijä		Työntekijä

KUVIO 5. Matriisiorganisaatiomalli

Virtuaaliorganisaatiomallissa projektin työntekijät on hajautettu eri toimipisteisiin. Tähän malliin päädytään, mikäli organisaatio on rakentunut työntekijöiden ympärille, jotka on sijoitettu eri tiloihin. Tämän mallin huonona puolena mainittakoon tiedonkulku. Palaverien järjestämisen mahdollisuus heikkenee, mikäli maantieteellinen etäisyys on suuri toimijoiden kesken. Nykyaikana asiaa helpottavat hyvät kommunikaatioyhteydet, joskaan ne eivät korvaa täydellisesti saman pöydän ääressä käytävää keskustelua. (Karlsson & Marttala 2001, 58–59.)

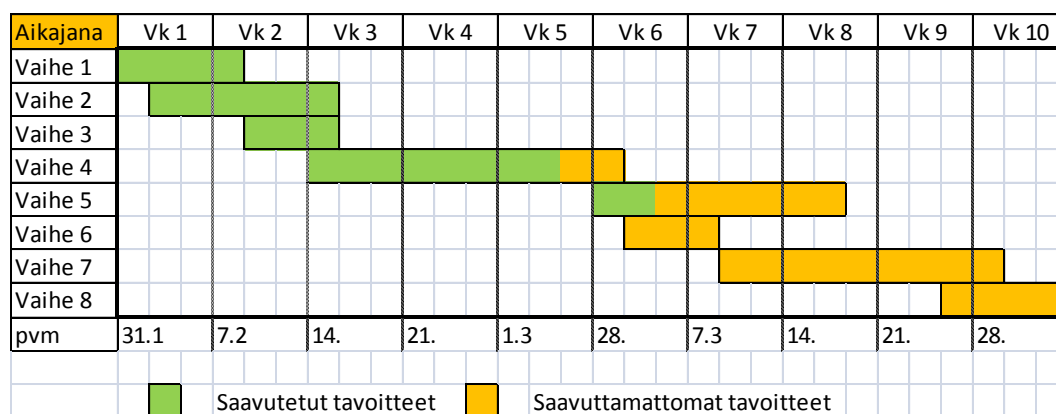
5.5.5 Resurssit ja suunnitelma, aikataulu, kustannusarviot

Jotta resurssien tarve voitaisiin arvioida tarkasti, tulee suorittaa arvio työmääristä. Tähän tarkoitukseen on kehitetty menetelmiä, joita voidaan hyödyntää arviointia suoritettaessa. Mikäli samankaltaisia projekteja on toteutettu aikaisemmin, voidaan luotettavasti tukeutua historiatietoon ja aikaisemmissa projekteissa käytettyihin henkilöstö- ja työmääriin. Pienissä projekteissa voidaan resurssien tarve määrittää arvioimalla. Arvioimista helpottaa, mikäli projekti jaetaan pieniin, 1 - 10 henkilötyöpäivän kokoisiin osiin. Näin vältetään suurien osien aliarviointi. Samalla voidaan laatia suunnitelma aikajanalle pieniin osiin jaetuista tehtävistä. Tämä helpottaa projektin sisällön hallintaa ja auttaa projektin edistymisen seurannassa. (Kettunen 2009, 60–61, 105.)

Resurssien määrittämistä varten on myös kehitetty työkaluja, joita voidaan käyttää, mikäli suoritettava projekti on suuri tai ennestään ainakin osittain tuntematon. Tällaisia menetelmiä ovat muun muassa projektiositus eli WBS (Work Break-down Structure), toimintopisteanalyysi FPA (Function Point Analysis) ja PERT

(Program Evaluation and Review Technique). Uusia tekniikoita kehitetään jatkuvasti, joilla pyritään tarkempiin ja parempiin arvioihin. (Kettunen 2009, 61–62.)

Ajankäyttölinninen suunnitelma voidaan esittää perinteisen aikajanan tai aikataulu-kaavion avulla. Tämä ei kuitenkaan kerro toisiinsa liittyvien töiden riippuvuuksia eli sitä, voidaanko seuraavaa työtä aloittaa toisen työn ollessa yhä käynnissä. Gantt-kaaviota (KUVIO 6) käyttämällä voidaan määrittää töiden väliset riippuvuudet ja niiden suhteet toisiinsa nähden. Samalla projektiin luodaan välitavoitteita sekä niille määritetään päivämäärä. Tämä helpottaa projektin hallinnointia ja asettaa työntekijöille selvät määreet ajankäytön suhteen. (Kettunen 2009, 62.)



KUVIO 6. Esimerkki Gantt-kaaviosta

Tehokkaaseen projektihallintaan kuuluu ihmisresurssien hallinta. Gantt-analyysia voidaan hyödyntää tehokkaasti, mikäli projektissa on työtehtäviä, joiden suorittaminen vaatii erikoisosaamista tai vastaavaa yhden osa-alueen työtä. Ja vaikka ihmisresurssit ovat suurimpia investointeja projekteissa, tulee myös muut kulut huomioida. Tällaisia kuluja ovat muun muassa tilat, ohjelmistot, koneet, laitteet ja tarvikkeet. (Kettunen 2009, 62–63.)

Edellisten dokumenttien pohjalta voidaan tehdä kustannusarviot suhteellisen tarkasti. Tärkein yksittäinen arvioitava osio on ihmisresurssit. Motivoituneiden työntekijöiden panos käynnissä olevassa projektissa on sitä suurempi, mitä paremmin

työntekijä ymmärtää oman työpanoksensa tärkeyden ja projektin kokonaiskuvan suhteen. (Kettunen 2009, 62.)

5.5.6 Riskit ja niiden hallinta

Projektisuunnitelman yhteydessä riskeillä tarkoitetaan niitä vaaratekijöitä, jotka aiheuttavat projektin viivästymisen ja pahimmassa tapauksessa keskeytymisen. Riskit kuitenkin kuuluvat jokaisen projektin kulkuun ja analyysi riskeistä tulee liittää osaksi projektisuunnitelmaa. Riskejä arvioidessa on hyvä käyttää tähän tarkoitukseen kehitettyjä menetelmiä. Yksi yleisimmistä tavoista määrittää riskejä ja niiden vakavuutta on käyttää apuna FMEA-analyysia. (Halme 2008.)

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) perustuu riskien vakavuuksien ja niiden todennäköisyyksien numeeriseen määrittelyyn. Esimerkiksi riskin vakavuudelle voidaan määrittää arvo 0 - 100 ja sen todennäköisyydelle arvo 0,1 - 1. Kerromalla keskenään arvioidut arvot saadaan tulo, jonka perusteella arvioidaan varasuunnitelmien tarve. Riskien varasuunnitelmien rakentaminen voi olla esimerkiksi kaksitasoinen raja-arvojen ollessa 30 ja 60. Esimerkissä (KUVIO 7) esitetään kolmeportainen järjestelmä. Riskit, niiden vakavuus ja todennäköisyys kannattaa suorittaa ryhmässä, jotta saavutetaan kattava ja mahdollisimman paikkansapitävä arvio. (Lahden ammattikorkeakoulu 2009.)

5.5.8 Tulosten luovuttaminen ja projektin päättäminen

Projektisuunnitelmassa tulee mainita tavat, joilla projekti luovutetaan, sekä se, miten asiakas tarkistaa ja hyväksyy toteutuksen. Näille toimille pitää määrittää jokin päivämäärä, koska mikäli päivämäärää ei ole asetettu, ei voida tarkkaan määrittää takuuajan alku- ja loppupäivämäärää. Asiakas saattaa myös viivästyttää viimeisen maksun toimitusta, mikäli maksuehdoissa on määritetty yhdeksi maksun ajankohdaksi luovutuspäivä. Mikäli luovutettava tuote on jokin laite tai kokonaisuus, voidaan luovutuspäiväksi määrittää laitteiston testauspäivä, joka tulee sopia asiakkaan kanssa. Asiakkaan hyväksymät, projektissa käytettävät testausmenetelmät kirjataan projektisuunnitelmaan osaksi luovutussuunnitelmaa. Projekti päättyy, kun luovutus on hyväksytysti suoritettu ja projektisuunnitelmaan on kirjattu päättymispäivämäärä. (Kettunen 2009, 125.)

Projektin päättymisen johdosta kannattaa järjestää päättäjäiset, joissa läpikäydään lyhyesti prosessin aikana ilmenneet asiat läpi. Päättäjäiset ovat virallinen päätös, jonka ohjelmaan varataan vähemmän virallista ohjelmaa. Jotkut projektit saattavat kestää pitkään ja päättäjäisten järjestäminen auttaa jättämään projektista hyvän tuntuman sekä antaa luvan siirtyä seuraavaan työtehtävään. (Kettunen 2009, 184.)

5.5.9 Sanasto ja termit

Tarvittaessa projektisuunnitelmaan voidaan lisätä selitys tekstissä käytetyistä lyhenteistä tai sanoista, joiden ymmärtäminen on tärkeää projektin sisällön kannalta. Sanaston esitysmuoto voi olla luettelomainen, ja se voidaan lisätä projektisuunnitelman loppuun tai vaihtoehtoisesti johdannon jälkeen alkuun. Jälkimmäistä järjestystä käytetään esimerkiksi SFS-standardeja laadittaessa.

6 VERTAILU OPITTUUN

Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan mekatroniikan suuntautumisvaihtoehto tarjoaa laajan kirjon aiheeseen liittyviä opintoja. Yhteen aiheeseen käytettävä aika on rajallinen, eikä syventyminen tiettyyn aiheeseen ole mahdollista. Koululaitos sitä vastoin tarjoaa työkalut itsensä kehittämiseen oppilaan itsensä valitsemilla aloilla. Tästä syystä on järkevämpää tarjota oppilaalle vaihtoehtoja, joista valita oman kiinnostuksensa kohde kuin keskittyä tiettyyn aiheeseen. Automaation alalla laajasta pohjasta on hyötyä ja opiskelija voi kehittyä työelämässä jonkin tietyn osa-alueen erikoisosaajaksi.

Perusopintojen lomassa toteutetaan projektiluontoisia töitä, joissa koulutuksen eri osa-alueita voidaan hyödyntää. Opiskelijat valitsevat yleensä oman, itsellensä sopivimman alueen työstettäväksi. Myös ongelmalähtöinen oppiminen (PBL), joka on käytössä Lahden ammattikorkeakoulussa tekniikan alalla, tukee oppilaiden oman mielenkiinnon kohteen löytämistä.

Tekniikan alalla monet työtehtävät käsittävät projektiluontoisia töitä. On tärkeää tutustua projekteihin jo opetuksen aikana. Kanssakäyminen muiden projektiin osallistujien kanssa on tuttua ja työkalut projektin läpiviemiseen ovat oppilaan hallussa. Tämä helpottaa työelämään astumista valmistumisen jälkeen.

Koulumaailman ongelmaksi nousee usein resurssien puute. Suuren määrän oppilaita tulee tulla toimeen samoissa tiloissa ja usein opastavilla lehtoreilla on useita vuosikursseja opastettavinaan. Lisäksi ensimmäisten vuosikurssien projektien toteutus keskittyy tekniseen osaamiseen jättäen varsinaisen projektihallinnan ja suunnitteluprosessin läpikäymisen taka-alalle.

Viimeisten vuosikurssien aikana nousee hallinnoiminen sekä dokumentaation tuottaminen tärkeämpään asemaan teknisten perusteiden ollessa hallussa. Dokumentaation tuottamisen tärkeys huomataan, ja asiakaslähtöinen ajattelu tulee tuksi yritysprojektien muodossa.

Tässä opinnäytetyössä käydyt asiat tulevat jokaiselle työelämään siirtyvälle opiskelijalle vastaan ainakin suunnitteluprosessien välityksellä. Vaikka opiskelijoista ei varsinaisia projektipäälliköitä tulisikaan, työelämässä useimmilla insinööreillä on alaisia ja työllä on aina asiakas.

Opinnäytetyön varsinaisen työn aikana nousi varsinkin yhteyden pitäminen, projektiryhmän informointi sekä aikataulutusta suureen osaan. Koska projektiryhmän koko oli laajempi kuin mihin aikaisemmin oli totuttu, tuotti se hankaluuksia yhteydenpidon ja aikataulujen yhteensovittamisen osalta.

Projektisuunnitelman tekoon oli opiskelun aikana perehdytty ja sen tuottamista sekä sisältöä läpikäyty. Siitä huolimatta vasta projektin päättymisen lähestyminen asetti suurimman tarpeen hyvälle projektisuunnitelmalle. Hyvän pohjan tuottaminen projektille kantaa hedelmää myöhemmässä vaiheessa. Kyseistä asiaa on vaikea tiedostaa pienempiä projekteja työstettäessä, ja mielestäni tätä tulisi painottaa opiskeluiden yhteydessä.

Opinnäytetyön yhteydessä tuotettuun ohjeeseen opetetut menetelmät tarjosivat hyvän pohjan. PBL-oppimisen aikana opiskeltuja tiedonhaun menetelmiä käytettiin suurelta osin hyödyksi ohjeen tuottamisessa.

7 YHTEENVETO

Varsinaisen työn tarkoituksena oli tuottaa ammattimaiset sähköpiirustukset Lahden ammattikorkeakoulun tiloissa käyttöönotettavasta työstö- ja kokoonpanolinjastosta sekä tuottaa ohjekirja sähkösuunnittelijan tarvitsemista tiedoista. Kirjallisessa osuudessa käsiteltiin viikkoon yhdeksän mennessä saatuja ratkaisuja linjaston suhteen. Lisäksi kirjallisessa työssä läpikäytiin perusratkaisuja sähköpiirustusten toteuttamiseksi. Koska suuren linjaston toteuttamisen yhteydessä suoritettiin suunnitteluprosessi, lisättiin teoreettinen tutkimus osaksi opinnäytetyön sisältöä.

Kysely kiinnostuneista yrityksistä tuotti tulosta ja työn aikana tapahtunut yhteistyö oli innostunutta ja positiivista. Yhteistyössä toimivat yritykset tarjosivat apuaan tieto-aidon sekä mallikuvien suhteen. Näistä olikin ratkaiseva apu työn läpiviemiseen. Yritysten motiivina projektissa oli tarjota opetusta, joka tuottaisi opiskelijoille valmiuksia siirtyä työelämään lyhyemmällä perehdyttämisjaksolla. Myös työohjeen tuottaminen kiinnosti yrityksiä ja yritysten edustajat esittivätkin runsaasti ideoita ohjeen sisältöön.

Suurin osa ohjeesta piti sisällään turvallisuuteen liittyvää tietoutta, joka selvitettiin tulkitsemalla SFS-standardeja sekä keskustelemalla yritysten edustajien kanssa. Lisäksi ohjeessa käytiin tarkasti läpi Esys Oy:n luovuttamaa materiaalia merkitsemissäännöistä, jotka olivat yrityksessä käytössä suurempien toimitusten yhteydessä.

Kaikkia yrityksiä yhdisti CADS Planner Electric -sovelluksen käyttö sähkösuunnittelussa, josta koostettiin ohjeeseen osuus sovelluksen tehokkaasta käytöstä. Sähköpiirustukset pyrittiin toteuttamaan käyttäen tietokantaa mahdollisimman paljon hyödyksi. Suuren projektiryhmän ongelmaksi osoittautui tietokannan päivityksen toteutus. Koululaitoksen tietoturvajärjestelmä ei mahdollistanut sähköpiirustusten päivittämistä laitoksen ulkopuolisilta asemilta, minkä takia kuvien toteutus jouduttiin tekemään vuoroittain. Samoin tulevaisuuden kannalta tärkeä kirjas-

ton luominen ja ylläpitäminen osoittautui mahdottomaksi toteuttaa koululaitoksen sisäisessä verkossa.

Vaikka tekstin kirjoitushetkellä asennustyöt linjaston parissa jatkuivat, saatiin varsinaiset piirustukset asianmukaisesti tuotettua. Lisäarvoa tuotti työohjeen kirjoittaminen, koska sähkösuunnittelusta automaatioteollisuuteen on hyvin vähän kirjoitettua tietoa. Suurin osa tästä tiedosta on kokemuksen kautta hankittua ja sitä tietoa pyrittiin työohjeeseen lisäämään.

Sain mahdollisuuden toimia ryhmän vetäjänä suunnitteluprosessin aikana. Tämän ansiosta sain selkeän näkemyksen ryhmän vetämisestä sekä kaikesta siitä oheistyöstä, joka kuuluu projektin päällikölle tai johtavalle henkilölle. Näitä kokemuksia pyrin peilaamaan kirjoittaessani projektityön teoreettista osuutta opinnäytetyöhön. Lähdetieto projektinhallinnasta oli hyvin yleismaailmallista ja varsinaista tekstiä aiheesta pyrin suuntaamaan teollisuuden projekteja silmällä pitäen.

LÄHTEET

Beckhoff Automation Oy. 2010. AM3000 [viitattu 2.3.2011]. Saatavissa: http://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/Drive_Technology/AM30xx.pdf

Beckhoff Automation Oy. 2011a. CX1020 | Basic CPU module [viitattu 21.3.2011]. Saatavissa: <http://www.beckhoff.com>

Beckhoff Automation Oy. 2011b. Integrated safety functions in the AX5000 [viitattu 9.3.2011]. Saatavissa: <http://www.beckhoff.com/>

Beckhoff Automation Oy. 2011c. Operating instructions: Servo Drives AX5000 version: 3.0 [viitattu 19.3.2011]. Saatavissa: http://download.beckhoff.com/download/Document/Drives/AX5000_usermanual_en.chm

Halme, M. 2008. Projektityöskentely. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala [viitattu 17.3.2011]. Saatavissa: <http://reppu.lamk.fi>

Helsingin yliopisto. 2006. Aivorihi [viitattu 17.3.2011]. Saatavissa: <http://www.valt.helsinki.fi/blogs/opetuskesk/aivorihi.htm>

Karlsson, Å. & Marttala, A. 2001. Projektikirja. Tampere: Talentum Media Oy.

Kettunen, S. 2009. Onnistu projektissa. 2. uudistettu painos. Juva: WSOYpro.

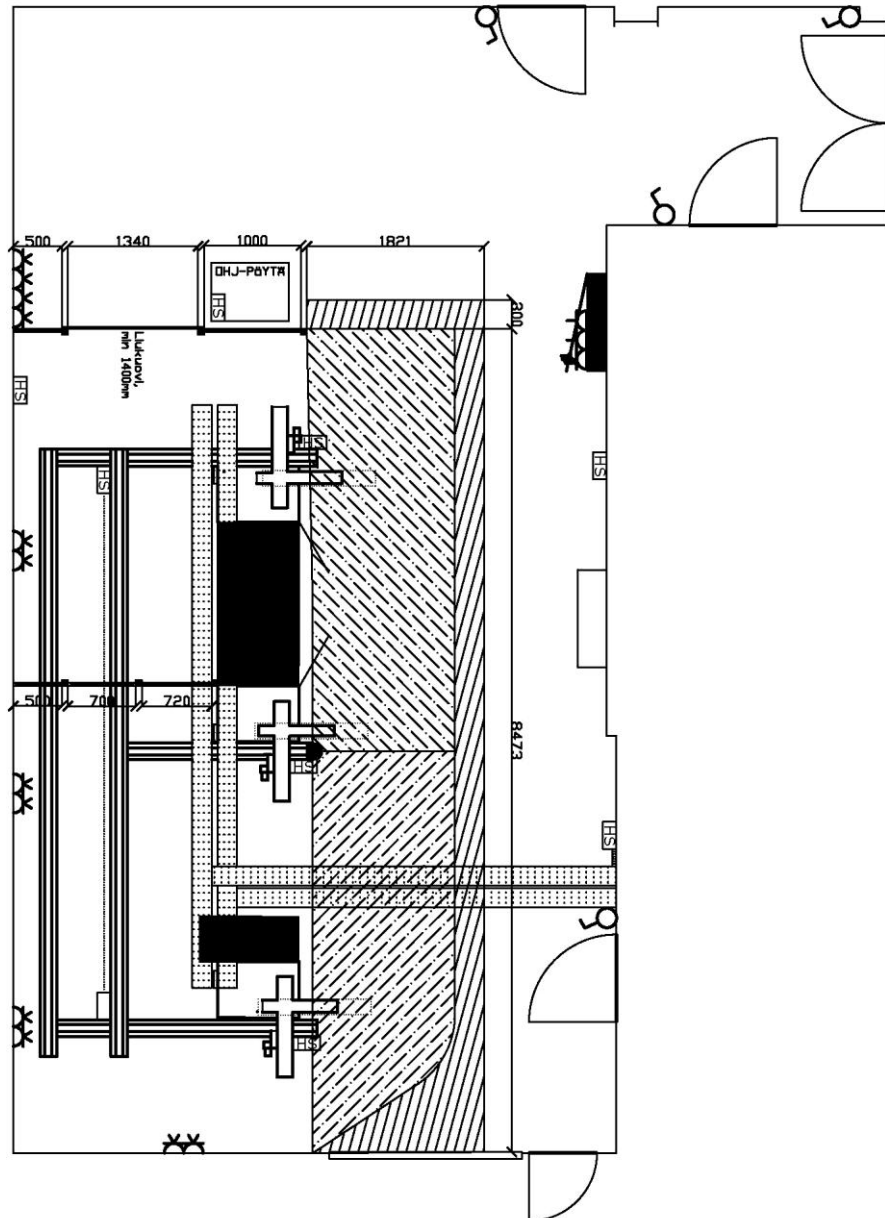
Lahden ammattikorkeakoulu. 2009. Riskit 1 [viitattu 17.3.2011]. Saatavissa: <http://reppu.lamk.fi/mod/resource/view.php?id=203514>

Vaasan Aikuiskoulutuskeskus. 2006. SOPIMUSOIKEUS [viitattu 10.3.2011]. Saatavissa: www1.vakk.fi/yrittaja/materiaali/sopimusoikeus.doc

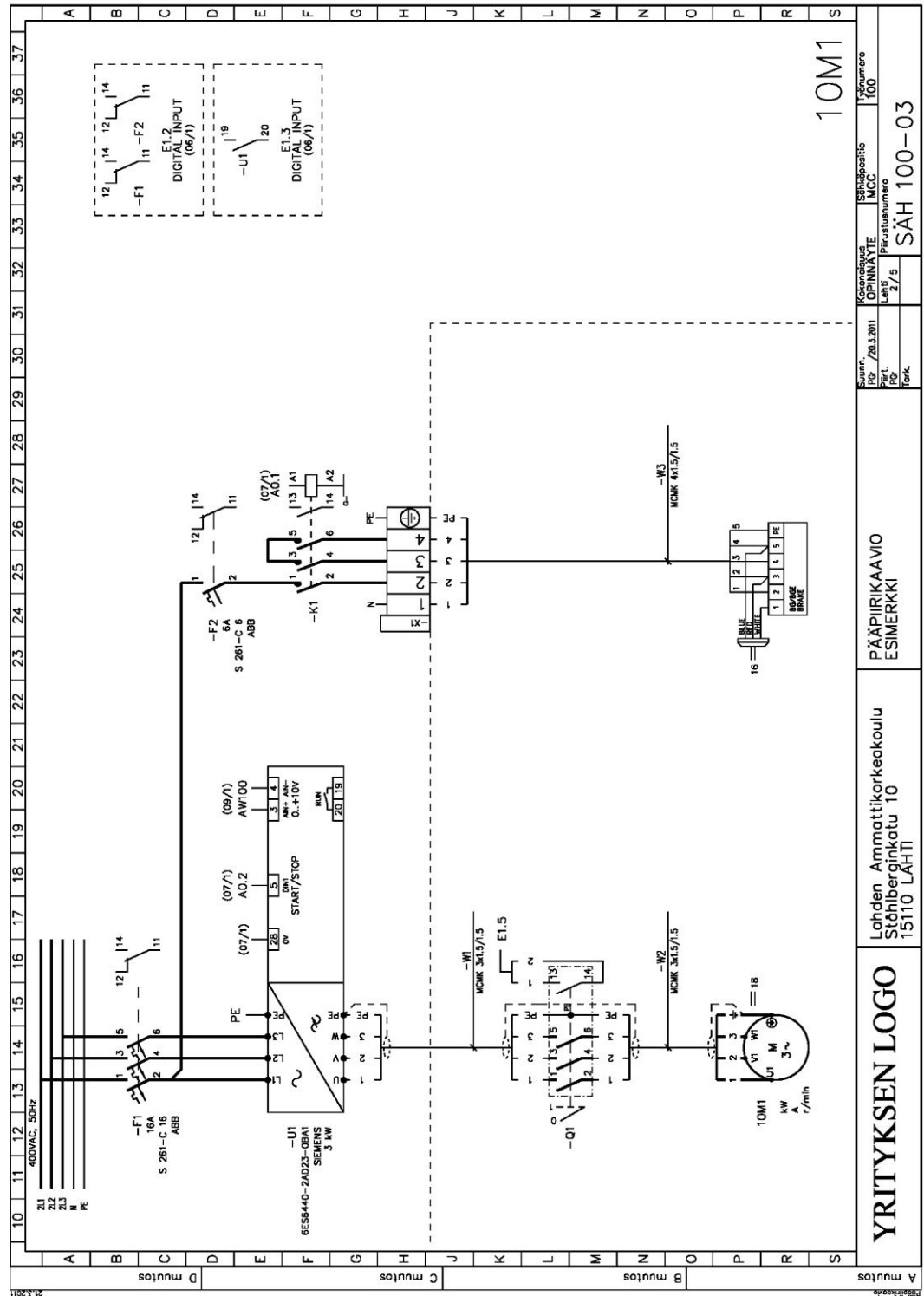
Valtanen, E. 2008. Tekniikan taulukkokirja. 16. painos. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.

LIITTEET

LIITE 1	Layout-kuva linjaston turva-alueista
LIITE 2	Pääpiirikaavio
LIITE 3	Moottorikäyttö
LIITE 4	Ohjausjännitekytkennät
LIITE 5	Digitaalinen tulokortti
LIITE 6	Digitaalinen lähtökortti







LIITE 4

