

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2010

Anu Grönholm

# CNC-ROBOTIN MODIFIOINTI



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Opinnäytetyön valmistumisajankohta 18.03.2010 | Sivumäärä 24

Ohjaajat Jukka Määttänen ja Timo Vaskikari

Anu Grönholm

## CNC-ROBOTIN MODIFIOINTI

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa CNC-robotin modifiointi Hella Lighting Finland Oy:lle. CNC-robotin ohjelmistoon ja ohjausjärjestelmään tehdyt muutokset on toteutettu yhdessä alkuperäisen laitevalmistajan System Gosewehrin kanssa.

Opinnäytetyössä pyritään ratkaisemaan vanhojen Gosewehr-merkkisten CNC-robottien pitkästä elinkaaresta johtuvia ongelmia. Näitä ongelmia ovat alkuperäisten varaosien heikko saatavuus sekä se, että näistä roboteista yksitoista on erittäin kriittisiä yrityksen tuotannolle. Tekninen toteutus tehtiin CNC ME 100-tyyppiselle teollisuusrobotille, josta servovahvistimet oli aiemmin otettu kiireellisesti toisen robotin käyttöön.

Työssä on perehdytty servovahvistimien vaihdosta aiheutuneisiin ongelmiin sekä tarkasteltu taloudellisesta näkökulmasta sitä, minkälaisia etuja vanhojen teollisuusrobottien modifioinnilla voidaan saavuttaa. Opinnäytetyössä selvitetään työn kannalta oleellisia asioita, kuten teollisuusrobotin rakennetta, servomootoreiden ohjausta, ohjausjärjestelmän toimintaa sekä tiedonsiirtoväylän toimintaperiaatteita.

Näitä arvioita voidaan käyttää myös Hella Lighting Finland Oy:n uusinvestointisuunnitelmien tukena, silloin kun muutostarpeet ovat todettu. Uusinvestointiratkaisuja ei kuitenkaan voi tehdä pelkästään tässä työssä tehtyjen kustannuslaskelmien perusteella, niitä voidaan kuitenkin pitää yhtenä informaatiolähteenä päätöksenteossa.

Tavoitteena tekijällä on maksimoida Gosewehr-robottien käyttöastetta niiden elinkaarensa loppuvaiheisiin saakka sekä oppia hyödyntämään työssään kohtaamiaan haasteita ja ongelmatilanteita.

ASIASANAT: CAN-väylä, resolveri, servovahvistin

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

Date March 18.2010| Total number of pages 24

Instructors Jukka Määttänen and Timo Vaskikari

Anu Grönholm

## MODIFICATION OF THE CNC- ROBOT

The purpose of the thesis was to design and to carry out the modification of the CNC robot for Hella Lighting Finland Oy. The changes that have been made to the software and control system were carried out together with the original robot's manufacturer, System Gosewehr.

An attempt is made to solve the problems caused by the long lifespan of old Gosewehr CNC robots in the thesis. Some of these problems are the availability of original spare parts and the fact that eleven of these robots are extremely critical to the production of the company. The technical implementation was made to CNC100-type industrial robots from which the servo amplifiers had earlier been urgently brought into use for a second robot.

The various kind of advantages for the modification of old industrial robots have been studied and the problems caused by the exchange of servo amplifiers in the work have been examined from an economic point of view. Matters essential for the work are clarified in the thesis work as are the structure of the industrial robot, control of servomotors, operation of the control system and operating principles of the data transfer channel. These estimates can be used as support for plans in the future and for the new investments of Hella Lighting Finland Oy.

The purpose of the thesis is to facilitate the decision making when the need for change has been stated. The profitability advantages of this work and can be best estimated in the future when the CNC robot is lifted over the Injection moulding machine and tested in the production. The objective is also to learn to utilise the challenges and problem situations met by it with a factor in its work.

KEYWORDS: CAN-bus, resolver, servo amplifier

## ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia työtäni tukeneita henkilöitä, erityisesti laitosasentaja Heikki Määttästä korvaamattomasta tuesta ja kannustuksesta sekä insinööriyöni valvojia sekä pitkäaikaista työnantajaani Hella Lighting Finland Oy:tä. Kiitokset kuuluvat myös perheelleni.

Tämä työ on antanut minulle erittäin hyvät lähtökohdat ja tarvitsemaani kokemusta projektiluontoisesta työskentelystä. Se on kehittänyt myös teoreettisia taitojani sekä ongemanratkaisukykyäni. Tehtävä oli erittäin haasteellinen ja mielenkiintoinen.

Kiitän työssäni aktiivisesti olleita henkilöitä:

Harri Granholm, Jetter Oy

Mikko Kokkonen, Jetter Oy

Besonderer Dank

Andreas Peters, System Gosewehr

Salossa 18.03.2010

Anu Grönholm

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>5</b>
1.1 Taustaa	6
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset	6
<b>2 TEOLLISUUSROBOTTI</b>	<b>7</b>
2.1 Robotin rakenne	7
<b>3 SERVOTEKNIikka</b>	<b>8</b>
3.1 Servovahvistin	8
3.2 Servomootorit	9
3.3 Resolveri	10
3.4 Vaihteisto	10
3.5 CAN-väylä	10
3.6 CAN-väylän toimintaperiaate	11
3.7 Anturit	12
<b>4 ROBOTIN OHJAUKSEN PERIAATE</b>	<b>13</b>
4.1 Ohjelman rakenne	13
4.2 Robotin sovellutusohjelma	14
<b>5 TEKNINEN TOTEUTUS</b>	<b>14</b>
<b>6 ROBOTIN ELINKAARIKUSTANNUSTEN HALLINTA</b>	<b>15</b>
6.1 Robotin taloudellisuus	16
6.2 Robottiautomaation kannattavuus	17
6.3 Gosewehr-robotin edullisin pitoaika	18
6.4 Modifioinnin kustannuslaskelma	20
<b>7 SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI</b>	<b>20</b>
<b>8 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT</b>	<b>23</b>
<b>9 LÄHTEET</b>	<b>24</b>

## TYÖSSÄ KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET

AGND	analogiapiirin maa
BAUDI	tiedonsiirtonopeuden suure
BTB	signaali robotille valmis käyttöön, esimerkiksi hätäseislinja tai turvapiiri on suljettu
CAN	automaatioväylä, Controller Area Network
CNC	tietokoneistettu numeerinen ohjaus, Computerized Numerical Control
CPU	prosessori tai suoritin, tietokoneen osa, joka suorittaa tietokoneohjelman sisältämiä konekielisiä käskyjä, Central Processing Unit
DGND	digitaalisenignaalien vertailu potentiaali
EEPROM	haihtumaton puolijohdemuisti, Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
ENABLE	signaali (vahvistimelle) +24 V, lupa käynnistyä
NC	numeerinen ohjaus, Numerical Control
NSTOP	rajakytkimen sisäänntulo negatiiviselle liikesuunnalle
PC	henkilökohtainen tietokone, Personal Computer
PSTOP	rajakytkimen sisäänntulo positiiviselle liikesuunnalle

# 1 JOHDANTO

Kun vanhassa koneessa tai laitteessa on todettu muutostarpeita joko tuottavuutta, luotettavuutta tai turvallisuutta parantavista syistä, on yrityksessä järkevää miettiä, tehdäänkö kalliita uusinvestointeja vai voidaanko vanhaa konetta tai laitetta modifioida. Lähes aina, kun vanhoja koneita ja laitteita lähdetään uusimaan, on yleistä, että vanhoille laitteille lankeaa automaattisesti romutuspäätös. Osa toimivista yksiköistä on kuitenkin järkevää säästää varaosiksi, jos yrityksessä on vielä samanlaisia laitteita käytössä. Yleisin syy laitteen romutuspäätökselle onkin tarvittavan sovellutus- tai huolto-osaamisen puute sekä tekniikan nopea vanhentuminen.

Tässä työssä on päädytty vanhan teollisuusrobotin modernisointiin kunnossapidollisista syistä. Modifioinnin tarkoituksena on jatkaa käytössä olevan robotin elinkaarta siten, että se jatkaa useita vuosia uudistettuna. Modifiointi hankkeen onnistuminen edellyttää tekijältään laitteen teknisten tietojen hyvän hallinnan lisäksi, huolellista suunnittelua sekä laitteen valmistajan täyden tuen. Huolellisesti suunnitellut ja toteutetut hankkeet, voivatkin antaa arvokasta tietoa yritykselle.

Tässä työssä robottiin tehdyt muutokset eivät muuta sen käyttötarkoitusta, ominaisuuksia, turvallisuutta eikä käyttöönottohetkellä koskeneita konepäätöksiä. Sille ei myöskään tämän vuoksi tarvitse tehdä vaatimustenmukaisuusvakuutusta.

Tämä työ on tehty salolaiselle yritykselle Hella Lighting Finland Oy:lle ja sen tarkoituksena on jatkaa teollisuusrobotin elinkaarta vaihtamalla uudet servovahvistimet rikkoutuneiden tilalle sekä pohtia, miten olisi järkevää toimia tulevaisuudessa, kun joudutaan miettimään robottien elinkaarta koskevia jatkamis- tai lopetuspäätöksiä.

Robotin elinkaari on yleensä ideaali, se vastaa harvoin käytäntöä ja sen vuoksi on erittäin vaikeaa vetää tarkkaa rajaa eri robottimallien jatkamispäätösten välille. Yleensä suurimmaksi ongelmaksi osoittautuu se, ettei alkuperäisiä varaosia ole enää saatavilla tai niiden korjauskustannukset muodostuvat yritykselle kohtuuttomiksi. Tässä työssä alkuperäisten varaosien saatavuus hankaloitti odotetusti työn etenemistä.

## 1.1 Taustaa

Hella Lighting Finland Oy:ssä on useita robottimalleja monilla erilaisilla ohjauksilla. Näistä kolmen vanhimman portaalirobotin liikkeitä on toteutettu taajuusmuuttajilla. Taajuusmuuttajien parametointi on suhteellisen helppoa eikä niiden liikkeiden ohjaukseen tarvita monimutkaista tiedonsiirtoväylää.

Uudemmissa roboteissa on käytetty servotekniikkaa. Näiden tiedonsiirtoväylät aiheuttavat usein huolto- ja käyttöhenkilöille hankaluuksia, koska laitteiden mukana tulevat yleensä vain käyttöohjeet ja tekniset sovellutustiedot jäävät valmistajalle.

Kun koneet vanhenevat, niihin tulee luonnollisia kulumia. Nämä aiheuttavat sen, että tulee tilanteita, jolloin on kyettävä muuttamaan koneen tai laitteen sovellutustietoja vastaamaan niiden nykykuntoa. Hankalin tilanne syntyy silloin, kun alkuperäisten varaosien saatavuus on huono tai jopa mahdotonta. On myös tilanteita, joissa teknisen avun saaminen laitteen valmistajalta ei ole enää mahdollista.

Ennen kuin ryhdytään tämän kaltaiseen työhön, on järkevää miettiä yrityksen sisällä, löytyykö tarvittavaa huolto- ja sovellutusosaamista itseltä vai joudutaanko se ostamaan jostain muualta. Tämän työn toteuttamisesta pyydettiin tarjousta myös porilaiselta Drivematic Oy:ltä, joka kuitenkin osoittautui erittäin kalliiksi vaihtoehdoksi.

Tämä työ päätettiin toteuttaa yhdessä helsinkiläisen Jetter Oy:n sekä robotin valmistajan, saksalaisen System Gosewehrin kanssa. Näin tekijän oli mahdollista saada mahdollisimman paljon omaa kokemusta ja arvokasta tietoa tämän tyyppisen projektin toteuttamisesta.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on pohtia, miten olisi taloudellisesti järkevää lisätä Gosewehr-merkkisten robottien elinkaarta muutamilla vuosilla sekä toteuttaa toimiva malli asentamalla uudentyyppiset servovahvistimet vanhaan robottiin. Työhön valittiin useista servovahvistinmalleista helsinkiläisen Jetter Oy:n suosittelema vahvistinmalli JetMove 600. Robotti kaapeloitiin uudelleen ja asennettiin nämä alkuperäisten servovahvistimien Digifas 7200 -sarjan tilalle. Työssä kartoitetaan myös tärkeimpien varaosien saatavuus. Työ ei sisällä kytkentä- eikä sovellutustietojen asennusohjeita, joihin tämä työ rajataan. Ne on aina selvitettävä ensin kone- ja mallikohtaisesti, laitevalmistajan sähköpiirustuksia apuna käyttäen.



## 2 TEOLLISUUSROBOTTI

Robotit soveltuvat erinomaisesti kuluttavan käsityön korvaajiksi [8, s. 151]. Robotisoinnilla voidaan varmistaa tuotteiden tasalaatuisuus, silloin kun siihen vaikuttavat inhimillisyystekijät, kuten väsymys.

Robotteja käytetään tehtävissä, jotka ovat liian yksinkertaisia, likaisia tai vaarallisia ihmiselle. Näiden erehtymättömyys ja ahkeruus ovat myös parempia kuin samaa yksitoikkoista työtä tekevän ihmisen. Näillä kahdella ominaisuudella saavutetaankin tuotannonlisäys, jota tukee investoinnin kertaluonteisuus sekä tuotantokustannusten minimointi. [1, s. 307]

Hella Lighting Finland Oy:ssä sovelluksia ovat mm. kappaleen poisto kuumista työpisteistä, kuten ruiskupuristuskoneista sekä lamppujen asennus ja liimaustehtävät.

Robottiikan tulo on vaatinutkin koko yrityksen tuotantofilosofian tarkastelua uudella tavalla, johon keskeisenä osana kuuluu tuotantorakenteen joustavuus, jossa ei ole mitään turhaa toimintaa. Tällöin asiakas ei joudu maksamaan turhista apu- tai sivutoiminnoista ostaessaan robottitekniikalla tuotettuja tuotteita. [1, s. 308]

### 2.1 Robotin rakenne

CNC -robotti on vapaasti ohjelmoitavissa oleva, omalla ulottuvuusalueellaan toimiva kappaleen siirto- ja käsittelylaite. Kuvan 1 robotti rakentuu kolmesta eri osasta: mekaanisista osista, ohjauksesta (hardware) sekä CNC-ohjelmasta (software).



Kuva 1.CNC-robotti

Jotta robotti voisi toimia yhtenä tuotannon osana, se tarvitsee tuekseen myös muita oheislaitteita, esimerkiksi tarttujia, kuljettimia, pahviasemia, leikkureita, aistimia sekä työsuojelullisista syistä oman turva-aitauksensa.

Kuten NC -tekniikassa, myös CNC -tekniikassa käytetään robotin liikkeiden aikaansaamiseksi parametrimääritteitä. Näitä parametreja lähettää mikroprosessori, joka sijaitsee robotin keskusyksikössä.

Jotta aikaansaataisiin liikettä, on oltava käyttömootoreita, joiden tarkka ohjaus tapahtuu servovahvistimilla [1, s. 311]. Jokaisella Gosewehr-robotin vapausasteella on oma servomoottorinsa jotka toimivat itsenäisesti muodostaen yhdessä useamman vapausasteen kanssa liikekokonaisuuden. Vapausasteita robotilla on yleensä kolmesta kuuteen.

### 3 SERVOTEKNIikka

Servotekniikka on palvellut aluksi sotatekniikkaa nopeiden ja tarkkojen liikkeiden tuottamisessa, kuten ohjuksissa, tutkissa, laivoissa ja lentokoneissa. Teollisuuden ensimmäisiä sovellutuksia olivat muun muassa työstökoneet sekä prosessiteollisuuden venttiilit. Nykyään servotekniikkaa käytetään myös robotiikassa. Servotekniikan tehtävänä on ohjata robotin liikeakseleita haluttuun asemaan halutulla nopeudella.

Oleellisinta servojärjestelmissä on takaisinkytkentä. Sen avulla mitataan lähtösuure, jota verrataan järjestelmän ohjaukseen. Takaisinkytkennän vuoksi servojärjestelmillä on taipumuksia värähtelyyn, jos säätöjärjestelmä on väärin viritetty. [5, s. 7]

Takaisinkytkennässä käytetään tavallisesti aseman mittaamiseen potentiometriä, resolveria tai pulssianturia. Takaisinkytkentä on tapahtuma, jossa signaali muokataan sopivaksi ja johdetaan eroelimeen, jossa signaali vähennetään asetusarvosta. Jos takaisinkytkentäsignaali ja asetusarvot ovat yhtäsuuret, toimilaite on saavuttanut halutun suureen ja erosignaali on nolla.[5, s. 8]

#### 3.1 Servovahvistin

Servomoottoria ohjataan elektronisen servovahvistimen avulla. Servovahvistin syöttää servomoottorille sen tarvitseman käyttöjännitteen. Ohjaus tapahtuu vastaanottamalla servomoottorin asematiedot resolverilta. Näitä tietoja verrataan haluttuun asematietoon ja niiden perusteella ohjataan servomoottorin pyörimisnopeutta sekä pyörimissuuntaa.

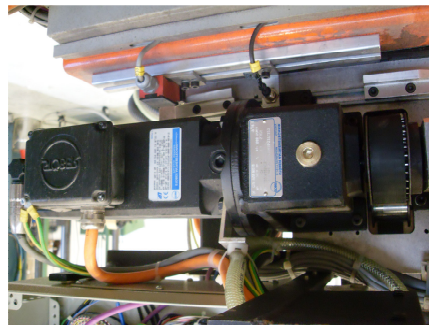
Kuvassa 2 on robotin kolmen akselin servovahvistimet, joita käytetään tässä työssä robotin liikkeiden ohjaukseen.



Kuva 2. JetMove 600 servovahvistimia

### 3.2 Servomootorit

Käyttökohteissa, joissa tarvitaan suurta tarkkuutta, on melko yleistä, että käytössä on takaisinkytkettyjä moottorikäyttöjä. Takaisinkytkettyjä ja säädettyjä moottoriratkaisuja kutsutaan servomootoreiksi. Kuvassa 3 on esitetty robotin x-liikeakselin servomoottori.



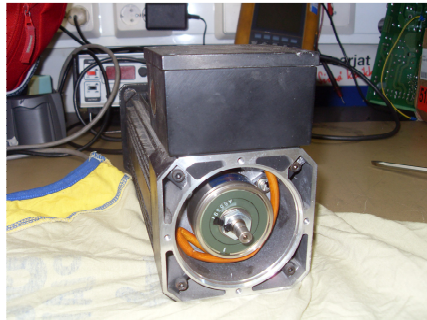
Kuva 3. Robotin x-akselin servomoottori

Servomoottorit ovat erikoisrakenteisia tasa- tai vaihtovirtamoottoreita, ja ne työskentelevät erittäin laajalla kierrosnopeusalueella. Servomoottorit eroavat muista moottoreista pääasiassa pienen hitausmomenttinsa osalta. Pieni hitausmomentti mahdollistaakin robotin suuret kiihtyvyydet ja hidastuvuudet ja siten sen liikkeiden nopean toiminnan [5, s. 10]. Robotin liike välittyy hammaspyörän ja hammashihnan välityksellä.

### 3.3 Resolveri

Resolveri on kulman mittauksessa käytettävä anturi. Se muistuttaa fyysiseltä ominaisuuksiltaan sylinterimäistä pientä tasavirtamoottoria. Resolverilla tarkoitetaan muuntajaa, jossa staattorin ja roottorin välinen kulma muuttaa magneettivuota ja siten toisiojännitettä. Tästä voidaan päätellä kiertymäkulma yhden kierroksen alueella. [3]

Resolvereita voidaan pitää luotettavina antureina, koska ne sisältävät vain vähän liikkuvia osia. Kuvassa 4 nähdään servomoottorin sisälle sijoitettu resolveri. Resolverista saatujen tietojen perusteella robotin ohjaus voi määrittellä robotin tarkan aseman sekä robotin tekemän liikematkan.



Kuva 4. Servomoottorin sisälle sijoitettu resolveri

### 3.4 Vaihteisto

Planeettavaihte on yleisin servomoottoriin asennettava vaihte. Tälle vaihdetyypille on ominaista sen pieni koko, sen hyvä hyötysuhde sekä ylikuormitettavuus. Planeettavaihteiden tyypillisimmiksi käyttö- ja sovelluskohteiksi ovatkin muodostuneet automaattivaihteistot sekä robotit. [4]

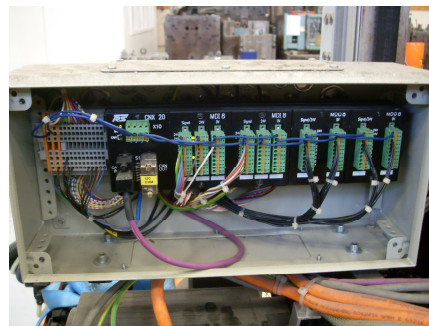
Planeettavaihteella on erittäin yksinkertainen rakenne. Planeettavaihteilla on myös kestovoitelu, joka tekee näistä varsin pitkäikäisiä. Vaihteen elinikä on tyypillisesti 15000–20000 tuntia nimellisteholla kuormitettuna. Planeettavaihteen suljettu rakenne sallii sen sijoittamisen myös aggressiivisiin olosuhteisiin. [4]

### 3.5 CAN-väylä

CAN-väylä (Controller Area Network) on automaatioväylä, jota käytetään robotin ohjaustietojen välittämiseen. Alun perin se kehitettiin hajautettujen ohjausjärjestelmien

reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon ajoneuvoissa. [2, s. 129] Teollisuudessa se on levinnyt myös robottien ohjaukseen ja niiden anturitietojen välittämiseen. CAN-väylä on johdotettu kaksinapaisella kierretyllä parikaapelilla, joista käytetään nimityksiä high ja low. ISO 11898 määrittelee CAN-väylällä käytettäväksi kaapelityypiksi impedanssiltaan 120 Ohmin suojattua tai suojaamatonta kaapelia [9]

Kaapeli johdotetaan CAN-väylämoduulista servovahvistimille sekä robotin keskusmuistiyksikköön CPU:n (Central Processing Unit). Kuvassa 5 nähdään robotin CAN-väylämoduulin lisäksi jännitelähdeyksikkö, sisääntulo- ja ulostulomodulit. CAN-väylässä on myös 120 ohmin päätevastukset, jotka estävät väylään lähetettyjä signaaleja palaamasta kaikuna, häiriten näin väylässä tapahtuvaa tiedonsiirtoa. Päätevastukset näkyvät kuvassa 5 violetin väyläkaapelin oikealla puolella.



Kuva 5. CAN-väylämoduuli

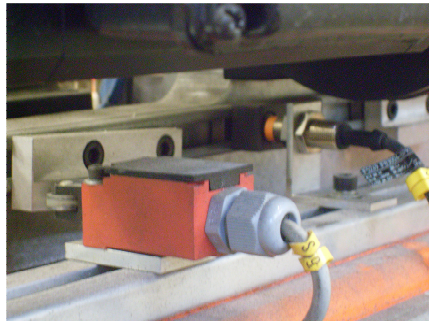
### 3.6 CAN-väylän toimintaperiaate

CAN-väylän tiedonsiirto perustuu kahden johtimen CAN\_H: n ja CAN\_L: n väliseen jännite-eroon. Jännite-eroon perustuvassa väylän tilan määrittämisessä on se etu, että ulkopuoliset sähkömagneettiset säteilyt vaikuttavat molempiin johtimiin samalla tavoin ja niiden jännite-ero pysyy kuitenkin vakiona eikä tiedonsiirto häiriinny. [2, s. 134] ISO-standardi määrittelee suuremmille tiedonsiirtonopeuksille molemmille johtimille resessiivisessä tilassa 2,5 voltia, jolloin johtimien välinen jännite-ero on 0 voltia sekä dominantille tilalle CAN\_H:lle (high) 3,5 voltia ja CAN\_L:lle (low) 1,5 voltia, jolloin johtimien jännite-ero on siis 2,5 voltia. [2, s. 134] Dominantti tila CAN-väylällä vallitsee silloin, kun vähintään yksi solmu lähettää aktiivisesti loogista nollatilaa, ja resessiivinen tila silloin, kun mikään solmu ei aktiivisesti lähetä väylälle mitään tai kaikki solmut lähettävät loogista ykköstä. [7]

### 3.7 Anturit

On tilanteita, jolloin robotin akselit on ajettava 0-asemakohtaan. Näitä tilanteita on esimerkiksi silloin, kun on tapahtunut sähkökatkos, hätäseis-tilanne, työn aloitustilanne tai robotti saavuttaa jonkin akselin pääterajan. Kuvassa 7 edessä vasemmalla on X-akselin mekaaninen päätyraja S9 sekä taaempänä induktiivinen pääteaseman anturi. Robotti saa tiedon induktiiviselta anturilta akselin 0-kohdasta.

Jokaiselta akselilta löytyvät päätyraja sekä pääteasema-anturit. Näiltä antureilta tulevat tiedot menevät myös jokaisen akselin servovahvistimille. Jos jostain syystä robotti saavuttaa päätyrajan eikä pysähdykään induktiivisen pääteasema-anturin kohdalle, servovahvistimet saavat siitä tiedon ja pysäyttävät moottorit. Jokaiselta akselilta löytyy myös mekaaniset varmistukset, etteivät robotin liike akselit pääse putoamaan.



Kuva 7. X-akselin mekaaninen päätyraja S9

## 4 ROBOTIN OHJAUKSEN PERIAATE

Gosewehr ME-100s:n ohjauksessa käytetään Gorobtronic G6-ohjelmaa. Robotin sisään- ja ulostuloja sekä sen akseleita voidaan ohjata yhdellä fyysisellä ja loogisella yksiköllä (kuva 8). Robottiin voidaan kytkeä myös kannettava tai pöytämallinen PC-tietokone tietojen siirtoa ja ohjelmointia varten.

Tietokoneen ollessa kytkettynä RS232-kaapelilla robotin keskusmuistiyksikköön voidaan tarvittaessa määrittää myös robotin eri akselien liikeramppeja sekä nopeuksia. Nämä muutokset tehdään sovellutustietojen kautta.



Kuva 8. Robotin ohjainyksikkö

### 4.1 Ohjelman rakenne

Gosewehrin valmistaman käyttäjäohjelma muodostuu maksimissaan 1500:sta ohjelmarivistä, joihin voidaan syöttää ohjelmakäskyjä. Ohjelmointikieli tuntee noin 30 erilaista käskyä, joita ohjaus suorittaa yksittäis- tai rinnakkaisajona.

Ohjelmakäsky määrittää ohjelmarivillä, mitä robotin tulee kulloinkin tehdä sekä millä nopeudella sen halutaan liikkuvan.

Robotin ohjaus suorittaa automaattiajossa ohjelmarivillä olevan käskyn heti kun käyttäjän ohjelmoimat ehdot täyttyvät. Tämä onkin syytä ottaa huomioon, koska ihmisellä on taipumus unohtaa robotin suuret voimat ja nopeat liikkeet. Hän saattaa ajattelelattomuuttaan kurottautua sen työalueelle vain kuitatakseen ohjauksen tarvitseman sisään-tulon, jolloin seuraukset voivat olla erittäin vakavia. Työtaturmia sattuu juuri näissä tilanteissa, joissa robotin työalueelle on vapaa pääsy tai suojaukset ovat olleet puutteellisia.

## 4.2 Robotin sovellusohjelma

Sovellusohjelman avulla voidaan muuttaa robotin referenssinopeuksia, moottoreiden virta-arvoja, vääntömomentteja, käsi- ja automaattiajossa käytettäviä nopeuksia sekä monia muita arvoja. Nämä arvot ovat laitevalmistajan määrittämiä ja jokaisella robotilla ne ovat erilaisia. Tämän työn robotilla sovellustiedoista löytyy yli 70 eri parametria, jotka ovat vapaasti ohjelmoitavissa.

Näiden arvojen muuttaminen ilman siihen tarvittavaa tuntemusta on erittäin vaarallista. Syöttämällä väärää sovellustietoa robotille on hyvin mahdollista, että kalliit servomootorit ja vaihteistot vaurioituvat pysyvästi. Näiden tietojen muuttamiseen tarvitaankin valmistajan antamat salasanat, jotka ovat jokaisella robotilla erilaiset. Vahvistimien ja uuden CAN-väylän vaihdon vuoksi robotin sovellustiedot jouduttiin määrittelemään uudelleen. Näiden tietojen määrittelemisestä aiheutuikin tämän työn haastavimmat tehtävät.

## 5 TEKNINEN TOTEUTUS

Työn tekninen osuus on vaatinut tekijältään useita työtunteja, keskusteluja eri vahvistintoimittajien kanssa, tiivistä yhteistyötä saksalaisen robotin valmistajan kanssa, huolellista tutustumista käyttö- ja kytkentäohjeisiin sekä työn varsinaisen teknisen toteutuksen ja lopputestauksen.

Aluksi vanhojen vahvistimien tilalle tilattiin uudentyyppiset vahvistimet sekä purettiin vanhat kytkennät ja johdotettiin kaikki uudelleen. Robotti sidottiin liinoilla tukevasti lavojen päälle ja irrotettiin hammashihnat robotin liikeakseleilta, jotta servovahvistimia testattaessa robotin moottoreiden turvallinen käyttö oli mahdollista.

Kytkenneiden kannalta oli tärkeää selvittää myös uuden servovahvistimen kytkennöissä käytettyjen termien merkitykset, kuten AGND, DGND, PSTOP, NSTOP, ENABLE, OUT-1, REFERENZ, VTA/ IDC ja BTB. Kun nämä termit oli selvitetty ja vertailtu niitä vanhan servovahvistin mallin vastaaviin termeihin, aloitettiin johtimien merkitsemisen. Tämän jälkeen tehtiin valmistajan ohjeiden mukaisesti CAN-väyläkytkennät.

Kun kaikki kytkennät olivat valmiina huomattiin, ettei tiedonsiirto toiminutkaan robotin ohjauksen ja vahvistimien välillä. Tämä hankaloitti tehtävää, koska nyt oli



ymmärrettävän CAN-väylän todellinen merkitys tiedonsiirrossa. Työssä ei osattu odottaa tämäntyyppistä ongelmaa.

Robotin CAN-väylämoduuli sekä ohjelma-Eeprom robotin keskustietokoneyksikölle jouduttiin vaihtamaan, koska selvisi, ettei tiedonsiirto toiminut vahvistimien ja vanhan CAN-väylän välillä eri baudinopeuksien vuoksi. Uuden väylän hankkimisesta aiheutui odottamattomia lisäkustannuksia.

Uuden ohjelma-Eeprommin vaihdon jälkeen alkoivat sovellutustietojen uudelleen ohjelmointi ja turvarajojen testaaminen, jonka jälkeen robottia oli aika valmistella tuotantoon. Robotille laadittiin useita testiajoja ja etsittiin moottoreille sopivia parametreja.

Käyttöönottotarkastuksessa tarkastettiin hätä-seislinjan sekä robotin päätyrajojen toiminta. Koekäytön aikana robottia pysäyteltiin, lisättiin moottoreille nopeuksia, jarruteltiin, käynnisteltiin uudelleen sekä kiihdyteltiin; näin saatiin aikaan erilaisia kuormitusten vaihteluja. Koekäytön aikana pyrittiin hetkellisesti ylittämään myös robotin senhetkisiä kuormituskykyjä. Useiden testien jälkeen voitiin todeta, että tehtävä oli onnistunut.

## 6 ROBOTIN ELINKAARIKUSTANNUSTEN HALLINTA

Robotin elinkaaren aikana siihen kohdistuvat investoinnit ja kustannukset on pyrittävä pitämään kohtuullisina ja hallittavissa. Uutta robottia hankittaessa sen elinkaari voitaisiin jakaa karkeasti Hella Lighting Finland Oy:ssa seuraavalla tavalla:

- Suunnittelujakso (-1–0 vuotta), jonka kuluessa määritellään laitteen/koneen sekä oheislaitteiston kunnossapito ja varaosien saatavuus, laaditaan ennakoivan kunnossapidon suunnitelma sekä sovitaan järjestelmän toimittajien kanssa mahdollisista ohjelmapäivityksistä. On odotettavaa, että automaattisten tuotantolaitteistojen vikaantuessa ne tulevat muodostumaan yritykselle kriittisiksi tekijöiksi, jonka vuoksi oman huolto-organisaation mukana olo myös suunnittelujakson alkuvaiheessa on erittäin tärkeää.
- Käyttöönottojakson (0–1 vuotta) kuluessa aloitetaan suunnitelmallisen ennakkohuollon toteuttaminen. Kunnossapito henkilöstön ja käyttöhenkilöstön

tulee tuntea vastuunsa hyvin. Heidän on opittava myös laitteiston hallittu pysäyttäminen ja turvallinen käsittely. Tämä on aikaa, jolloin on kerättävä mahdollisemman paljon tietoa, jotta kaikki parannukset ja ongelmatilanteet sekä vastuu saadaan siirrettyä nopeasti järjestelmän toimittajille. Etenkin laitteiston ja robotin ohjaukseen ja ohjelmointiin liittyvät käyttöhäiriöt tulee selvittää ja korjata tämän jakson kuluessa.

- Oppimisjaksolla (1–2 vuotta) on korjauksista otettava opiksi ja on aika tehdä parantavia investointeja, jos niihin on tarvetta. Tavoitteeksi on asetettava kustannusten alentaminen ennakoimalla mahdolliset laitevauriot sekä opittava tunnistamaan tuotannossa piilevät pullonkaulat.
- Tuottojakso (3–8 vuotta) robotin ja oheislaitteiston elinikä alkaa saavuttaa niiden oletettua elinkaaren puoliväliä. Ennakoimattomat laite- ja konerikot eivät ole nyt sallittuja. Laitteistojen käytettävyystavoite on pidettävä korkealla.
- Päättymisjakso (9–15 vuotta) laitteistojen ja robottien käytettävyys muodostuu tärkeimmäksi tehtäväksi tämän ajanjakson kuluessa. Kustannustaso on pyrittävä pitämään nyt mahdollisimman alhaisella tasolla. Yrityksessä on valmistauduttava robotin ja oheislaitteiston elinkaaren päättymiseen, joko valmistelemalla uusinvestointeja tai miettimällä jonkin muun korvaavan menettelyn käyttöönottoa.

## 6.1 Robotin taloudellisuus

Robotisointi on investointi, jonka kannattavuus on aina selvitettävä tarkoin kustannus- ja investointilaskelmilla. Robotin taloudellisuus muodostuukin keskeiseksi seikaksi silloin, kun on aika tehdä päätöksiä robotisoinnista. Robotin ylläpitokustannukset voidaan jakaa kiinteisiin kuluihin, joita syntyy robottisolun ylläpitämiseen vaadittavien henkilöiden palkoista ja koulutuksesta. Ylläpitokustannuksia tulee riippumatta siitä, paljonko järjestelmää käytetään. Muuttuvat kulut riippuvat robotin käyttömäärästä: mitä enemmän käyttötunteja robotille kertyy, sitä useammin ne vaativat järjestelmällistä huoltoa. Kulujen ohella on kuitenkin ajateltava robotisoinnilla saavutettuja hyötyjä, kuten tehokkaampaa tuotantoa, henkilökustannuksien pienentymistä sekä huonosta laadusta aiheutuneiden kustannusten pienentymistä. Työvoimakulujen noustessa robotisoinnista on tullut varsin kannattava investointikohde.

## 6.2 Robottiautomaation kannattavuus

Robottisolun kustannuksista noin puolet syntyy itse robotista sekä automaatioolosuhteissa tarvittavista oheislaitteista. Yhden kolmanneksen vievät kustannukset, jotka koostuvat suunnittelusta, laitteiden asennuksista sekä niiden ohjelmoinnista. Loppu muodostuu laitteiston käyttöönotosta sekä käyttäjien koulutuksesta. Käytäntö on kuitenkin opettanut, että laitteiston ensimmäisen elinkaarivuoden aikana kustannuksia syntyy myös laitteiden vauriokustannuksista, jotka pienentyvät sitä mukaa, kun työntekijöiden asiantuntemus ja kokemus karttuvat.

Halvimpien teollisuusrobottien perushinnat alkavat noin 20000:sta eurosta. Kokonaiskustannukset robottisolulle voivat kuitenkin muodostua yllätyksenä, ellei suunnitteluvaiheessa osata huomioida kaikkia todellisia kuluja tuotannon aloittamiseen saakka. Helposti unohdetaan laitteistojen tarvitsemat energiasyötöt, lattiatyöt, paineilma- ja vesiputkistojen laajennus- ja muutostyöt, vesiputkistojen uudelleen sijoittelut, ennakoimattomat ongelmat sekä monien muiden puutteiden korjaamiset. Hankalimpia ovat kuitenkin odottamattomat kustannukset kuten, myöhemmin tarvittavat jatkoinvestoinnit.

Tuotantoautomaatioon sijoitetut robotit ovat tärkeässä asemassa, koska ilman niitä monen yrityksen kilpailukyky alati muuttuvassa kansainvälisessä kilpailussa ei olisi enää riittävä. Voidaankin päätellä, että kannattavan robottisolun edellytyksenä on kolmivuorotyö, jotta sillä voidaan saavuttaa mahdollisimman paljon tuotannollista etua. Kalliilta tuotantoinvestoinnilta vaaditaan koneiden käyttöä myös ihmisen elpymisaikojen aikana sekä iltaisin että öiseen aikaan. Tällaisen tuotantolaitteiston investoinneilta vaaditaan myös nopeaa takaisinmaksuaikaa. Yleensä takaisinmaksuaikaa robottisolulle voidaan pitää noin yhdestä kahteen vuoteen, jotta investointia voitaisiin pitää vielä järkevänä ja kannattavana. Mitä nopeammin rahat investoinnista palautuvat, sitä parempi investointi [6].

### 6.3 Gosewehr-robotin edullisin pitoaika

On selvää, että käyttö- ja ylläpitokustannukset alkavat kohota robottien vanhetessa. Erilaiset käyttöhäiriöt lisääntyvät ja niihin joudutaan käyttämään entistä enemmän kunnossapidon resursseja. Vastaavasti niiden pääomakustannukset (korot, poistot) pienevät, mitä kauemmin niitä on mahdollista pitää tuotantotehtävissä.

Robottien edulliseen pitoaikaan vaikuttaa myös niiden jäännösarvon kehitys. Robottien jäännösarvon merkitys on yleensä teollisissa hankkeissa varsin pieni. Se voi olla myös negatiivinen, silloin kun laitteistojen purkamisesta ja niiden siirtämisestä aiheutuu yritykselle turhia lisäkustannuksia. Usein robotit pidetään tuotannossa kuitenkin niin kauan, että jäännösarvo pienenee, jonka vuoksi niiden jälleenmyyntiarvo on mitättömän pieni. Hella Lighting Finland Oy:n vanhojen robottien edullisuuskriteeriksi voidaankin asettaa niistä aiheutuvien vuosikustannusten minimointi. Ikääntyessään ne olisikin järkevää siirtää vähemmän tarkkuutta vaativiin tehtäviin, jossa ne voivat palvella vielä useita vuosia ilman merkittäviä kunnostustöitä.

Vastaavanlaisen, Gosewehrin valmistaman robotin hankkiminen käytettynä ei olisi järkevää. Näiden hinnat riippuvat niiden ikävuosista, esimerkiksi vuonna 1994 valmistettu robottimalli CNC ME 100 maksaa vielä 6900 euroa [10]. Käytettyjä robotteja ostettaessa saattaa käyttöönoton yhteydessä ilmetä ongelmia, koska tekninen dokumentaatio on usein puutteellista tai se puuttuu kokonaan. Robottien käyntihäiriöitä aiheuttavat yleensä entisen omistajan kytkemät lisä- ja oheislaitteistot, joiden olemassa olosta kunnossapito- ja käyttöhenkilöstöllä ei ole tarvittavaa tietoa.

Taulukossa 1 tarkastellaan esimerkin avulla Gosewehr-robotin edullisinta pitoaikamallia. Laskelmissa ei oteta huomioon korkotekijöitä. Käyttö- ja ylläpitokustannuksien katsotaan vaihtelevan vuosittain. Lähteenä [11] on käytetty Teemu Ahon teosta Investointilaskelmat, jossa pohditaan investointien suunnittelun erilliskysymyksiä.

Taulukko 1. Robotin edullisin pitoaikamalli [11, s. 201].

n	Hankintahinta H/n	Käyttö- ja ylläpitokustannukset yt	robotin kokonaiskustannukset Σ yt t=1	kokonaiskustannukset pitoajan ollessa n 1/n Σ yt	keskimääräiset kokonaiskustannukset/vuosi VK(n)
1	23590 €	2000€	2000€	2000€	25590€
2	11795€	1600€	3600€	1800€	13595€
3	7863€	1400€	5000€	1667€	9530€
4	5898€	300€	5300€	1325€	7223€
5	4718€	200€	5500€	1100€	5818€
6	3932€	50€	5550€	925€	4857€
7	3370€	6000€	11550€	1650€	5020€
8	2949€	100€	11650€	1456€	4405€
9	2621€	2000€	13650€	1517€	4138€
10	2359€	3000€	16650€	1665€	4024€

Taulukossa 1 käytettyjen kirjainten merkitysten selvennys:

n = robotin käyttövuodet tuotannossa.

H = robotin hankintahinta.

yt = käyttö- ja ylläpitokustannukset, joihin on arvioitu mahdolliset varaosat sekä muutostyöt vuosittain.

N = robotin edullisin pitoaika

VK(n) = keskimääräiset kokonaiskustannukset / vuosi.

Taulukosta voidaan päätellä, että robotti kannattaa korvata uudella sen vuoden lopussa, jonka keskimääräiset vuosikustannukset ovat pienemmät kuin seuraavan vuoden käyttö- ja ylläpitokustannukset. Tässä tapauksessa keskimääräiset vuosikustannusten minimitaso saavutetaan robotille sen kuudentena vuonna. Jos robotin jäännösarvoa halutaan hyödyntää, se kannattaa korvata identtisellä robotilla N vuoden välein.[11, s. 199]

On selvää, että yksittäisellä kustannustiedolla ei tehdä vielä mitään. Kustannustieto saa merkityksensä vasta silloin, kun sitä voidaan verrata luotettavasti johonkin muuhun vastaavaan robottiin.

#### 6.4 Modifioinnin kustannuslaskelma

Modernisoinnin kustannukset syntyivät tekijän työtunneista sekä robottiin tarvittavista vahvistimista ja komponenteista. Kustannuslaskelmassa perustellaan modernisoinnin kannattavuutta laadun sekä automatisoinnin eduilla (LIITE 2). Laskelmissa ei oteta huomioon logistisia hyötyjä eikä toimitusvarmuuden parantumista, koska näiden tekijöiden vaikutus on otettu huomioon ensimmäistä kertaa silloin, kun yrityksessä on tehty päätös tämän robotin investointisuunnitelmasta.

Laatukustannusten säästöjä on perusteltu robotisoinnin eduilla ja ne perustuvat yrityksessä aiemmin tehtyihin laskelmiin. Laatuhyötyjä arvioitaessa ovat susikustannustensäästöt kertyneet naarmuttoman tuotteen valmistamisesta. Ilman robottia ruiskupuristuskoneelta tulevat tuotteet joudutaan pudottamaan suoraan laatikkoon ja näin ne helposti vaurioituvat.

## 7 SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI

Kun tuotannossa on mahdollista suosia teknisiltä ominaisuuksiltaan samanlaisia robotteja, niin silloin kalliiden erikoistyökalujen, kuten robotin tarttujien, varaosien sekä robottien ohjelmointiin erikoistuneiden henkilöiden osuutta, voidaan vähentää ja näin saavuttaa yksinkertaisempi ja joustavampi tuotantoprosessi. Yksinkertaisuuden ajatellaan johtavan tehokkaampaan tuotantoon ja näin mahdollistavan tuotteelle alhaisemmat yksikkökustannukset.

Yrityksessä on suosittu 1990-luvun alkupuolella Gosewehr-merkkisiä portaalirobotteja. Näiden robottien kohdalla on se etu, että erikoisosaamisen tarve on pienentynyt. Yhä useammat koneryhmänhoitajat hallitsevat robotit erittäin hyvin ja näin on saatu tehostettua tuotantoa. Etua on ollut myös kunnossapidolle.

Näiden robottien kohdalla on kuitenkin ollut usein ongelmia varaosien hankinnassa ja niiden toimitusvarmuuksissa. Liitteeseen 1 on kerätty tietoja servovahvistimista, jotka ovat helposti saatavilla yrityksen omista varastoista, sekä arvioitu jokaisen robotin korjausmahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Jatkotoimenpiteiksi suositellaan välttämättömyysinvestointia kahdelle uudelle teknisiltä ominaisuuksiltaan samanlaisille portaaliroboteille. Yrityksen käyttöomaisuuden arvon

sekä toimintavarmuuden ylläpitämiseksi on laadittu suunnitelma Gosewehr-robottien elinkaaren hallintaan vuodelle 2010–2011 (taulukko 2).

Taulukko 2. Välttämättömyysinvestointiehdotus vuosille 2010–2011.

Käyttöaste				
Kone nro	Työpiste	Työpisteen koneet	2-vuoro 2009 80%	Ehdotus
25	143125	KRAUSS-MAFFEI 250T +Gosewehr, ME 100s/ TY10	78	Korvataan Wittman W 281:llä
Huom; Varaosat koneiden 16, 49, 45, 15, 40 mahdollisiin tarpeisiin robotit myös modifioitavissa				
Kone nro	Työpiste	Työpisteen koneet	2-vuoro 2009 80%	Ehdotus
7	433107	BATTENFELD 2-V 550T+Gosewehr ME 200s / TY10	56	Korvataan Wittman W 281:llä
Huom; Varaosat säästetään koneelle 21, erityisesti huomioitavaa on u- ja v- akselien servomootorit+mekaaniset osat				
Kone nro	Työpiste	Työpisteen koneet	2-vuoro 2009 80%	Ehdotus
30	123130	ENGEL 200T+Gosewehr ME 100 / TY10	36	Korvataan robotilla 2749
Huom; Varaosat koneiden 39, 22 mahdollisiin tarpeisiin				

Taulukossa 2 ehdotetaan välttämättömyysinvestointia kahdelle uudelle teknisiltä ominaisuuksiltaan samanlaiselle robotille. Korvaavaksi portaalirobotiksi suositellaan Wittman W 281:stä. Uudet robotit korvaisivat yrityksen ruiskupuristuskoneilla 25 sekä 7 olevat Gosewehr-merkkiset robotit. Näiden robottien uusimista on päädytty esittämään senhetkisten koneiden käyttöasteiden perusteella sekä varmistamalla toimivien varaosien saatavuus romutuspäätöksen saaneilta roboteilta.

Jatkossa on tärkeää myös jatkaa systemaattista suunnittelua laatimalla yrityksen koneille ja laitteille niiden elinkaaren vaiheiset suunnitelmat. Tärkeää on myös kehittää yksityiskohtaisempia menetelmiä, joilla hankinta- ja ylläpitokustannusten keruuta voidaan helpottaa. Kustannusten lisäksi tuottoja tulisi verrata aika-ajoin investointivaiheessa tehtyihin laskelmiin, näin on helpompaa tutkia investointien kannattavuutta sekä saada reaaliaikaisempaa tietoa niiden ylläpitokustannuksista. Nämä laskelmat antavat arvokasta tietoa silloin, kun tehdään päätöksiä seuraavien kone- ja laitehankintojen investoinneista.

Teollisuusrobottien uusiminen määrätyn väliajoin lisää myös yrityksen kilpailukykyä parantamalla muun muassa tuottavuutta ja toimitusvarmuutta, siksi epävarmojen tuotantolaitteistojen ja Gosewehr-robottien asteittainen poistaminen tuotannosta

varaosiksi on nyt tärkeää. Ilman modernia ja luotettavaa tuotantolaitteistoa on hankalaa vastata korkealaatuisten tuotteiden valmistuksesta.

Engelin valmistaman robottimallin ERC-23:n kustannuslaskennassa (LIITE 3) on selvitetty uusinvestoinnin kannattavuutta, jota voidaan verrata Oy WittFinn Ab:n tekemään tarjoukseen (LIITE 4). Tarjouksia on vertailtu kalliimman ja halvimman välillä. Molemmat robotin toimittajat ovat luotettavia sekä yhteistyö kunnossapitohenkilöstön ja käyttöhenkilöstön välillä on ollut erittäin hyvää ja ammattitaitoista.

Tarjouksista yleensä valitaan kokonaistaloudellisesti edullisin vaihtoehto. Vertailtaessa pelkästään tarjoushintoja on syytä antaa painoarvoa myös toimittajan yhteistyökyvyille, sopimusten täyttämiseksi sekä tekniselle osaamiselle. Yhdeksi painoarvoa antavaksi kriteeriksi voidaan asettaa nopea huolto- ja tukitoimien saatavuus. Tärkeää on myös selvittää robottien soveltuvuus erimerkkisten ruiskupuristuskoneiden yhteyteen sekä arvioida toimittajan kanssa yhdessä, mitä mahdollisia lisäkustannuksia niistä voi tulevaisuudessa aiheutua, esimerkiksi ohjelmistopäivityksistä. Uutta robottia hankittaessa asetankin kokonaisvastuulliset järjestelmän toimittajat avainasemaan.

Onnistunut tuotantoautomaatioinvestointi voidaan organisoida myös projektiksi, joihin voidaan valita eri osastoilta parhaiten robotisointia ja tekniikkaa tuntevia henkilöitä, näin on mahdollista yhdistää mahdollisemman monen eri asiantuntijan kyvyt ja osaaminen.

Tuotantoautomaatiojärjestelmät ovat usein erittäin monimutkaisia ja ne edellyttävät niiden suunnittelijoilta ja käyttäjiltä laaja-alaista tietämystä anturitekniikasta, pneumatiikasta, tietotekniikasta sekä koneisiin ja laitteisiin asetetuista turvallisuusmääräyksistä. Yhden henkilön on mahdotonta hallita koko vaadittavaa osaamiskenttää ja saada näin aikaan onnistunut kappaletavara-automaatioon soveltuva kokonaisuus.



## 8 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Työn päätavoite oli toteuttaa Gosewehr-robotin modifiointi sekä selvittää robottien varaosien saatavuus. Toimenpiteenä tavoitteisiin pääsemiseksi etsittiin sopivia servovahvistimia sekä otettiin useita kontakteja robotin valmistajaan. Osatavoitteeksi oli asetettu myös miettiä, miten vanhojen portaalirobottien elinkaarta olisi järkevää ja taloudellista jatkaa muutamilla vuosilla sekä laatia siihen suunnitelma.

Päätavoitteessa on onnistuttu. Tässä työssä toteutettiin toimiva malli CNC-robotin modifioinnista sekä saadaan palautettua robotti suunnitelmien mukaisesti takaisin tuotantoon.

Tätä työtä tehtäessä robotin valmistajan tekninen tuki on ollut erittäin nopeaa ja asiantuntevaa, mutta varaosien saatavuudesta sekä niiden tiedustelemisesta on muodostunut erittäin vaikeaa. Näiden saksalaisvalmisteisten robottien myyminen on ollut mielestäni alusta asti varsin lyhytnäköistä asiantuntevan myyntiorganisaation ja jälkimarkkinoinnin puuttuessa. Se on muodostunut ajoittain myös tuotannolle ja kunnossapitohenkilöstölle erittäin raskaaksi.


Työ on vaatinut tekijältään teoreettisten taitojen jatkuvaa kehittämistä sekä useiden teknisten ongelmien ratkaisukykyä. Työ on ollut itsenäistä ja se on vaatinut myös kykyä hallita koko työprosessia sekä kykyä toimia oikein vaihtuvissa tilanteissa. Vaihtuvat tilanteet ovat syntyneet tuotannon asettamista tarpeista. Ne ovat myös koetelleet ajoittain tekijän paineensietokykyä sekä tehneet työstä erittäin haasteellisen.


Ehdotan jatkotutkimustyöksi Hella Lighting Finland Oy:n tuotantokoneiden ja laitteiden elinkaarenhallintaan soveltuvia suunnitelmia sekä yksityiskohtaisemman menetelmän etsimistä, jolla koneiden ja laitteiden hankinta- ja ylläpitokustannusten keruuta voitaisiin yrityksessä helpottaa.


## 9 LÄHTEET

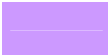
- [1] Keinänen, Kärkkäinen, Metso, Putkonen, Logiikat ja ohjausjärjestelmät. WSOY, 2000, ISBN 951-0-22601-7
- [2] Juhala, Lehtinen, Suominen, Tammi. Moottorialan sähköoppi. Gummerus Kirjapaino Oy, 2005, ISBN 951-9155-19-8
- [3] <http://www.ele.tut.fi/teaching/ele-3350/resolverit.pdf> Resolverit aseman mittauksessa IHA-3300/ELE-3350 Mekatroniikan erityiskysymyksiä -tutkielma Mikko Viinikainen. Viitattu 29.12.2009
- [4] <http://www.drivematic.fi/suomi/tuotteet.htm>. Viitattu 29.12.2009
- [5] Fonselius, Rinkinen, Vilenius, Koneautomaatio. Servotekniikka.Oy Edita Ab,1998, ISBN 951- 719-47-2
- [6] Pellinen Jukka, Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu. Taltum Media Oy, 2006, ISBN 952- 14-1062-0
- [7] <http://www.fluidfinland.fi/content/download/210/1289/file/FL...> - -1k - . Viitattu 30.12.2009
- [8] Aaltonen, Torvinen. Konepaja-automaatio. WSOY, 1997, ISBN 951-0-21439-6
- [9] <http://ocw.weber.edu/automotive-technology/ausv-1320-automotive-electronics/17-serial-data/iso-11898> .Viitattu 05.11.2009
- [10][http://www.industry-scout.com/Used\\_machines.php?cmd=listCatalog&showArticle=11338&language=en](http://www.industry-scout.com/Used_machines.php?cmd=listCatalog&showArticle=11338&language=en).Viitattu 03.01.2010
- [11] Aho. Investointilaskelmat. Weilin+Göös,1982, ISBN 951-35-2539-2


Kone nro	Työpiste	Työpisteen koneet	Käyttöaste 2-vuoro 2009 80%	Varaosien toimitusvarmuus
25	143125	KRAUSS-MAFFEI 250T +Gosewehr, ME 100s TY10	78	Hyvä
41	123141	ENGEL 150T+Gosewehr, ME 100s TY10	71	Kohtalainen
16	193116	ENGEL 350T +Gosewehr, ME 100s TY10	57	Hyvä
7	433107	BATTENFELD 2-V 550T+Gosewehr ME 200s TY10	56	Kohtalainen
21	923121	KM 200T + KASETOINTI+Gosewehr, ME 100s TY10	46	Kohtalainen
49	103149	KRAUSS-MAFFEI 80T+Gosewehr, ME 100 TY10	43	Hyvä
45	103145	KRAUSS-MAFFEI 110T +Gosewehr, ME 100s TY20	41	Hyvä
30	123130	ENGEL 200T+Gosewehr ME 100 TY10	36	Huono/ ei mahdotonta
39	123139	BATTENFELD 130T+Gosewehr ME 300 TY10	34	Huono/ ei mahdotonta
15	403115	BATTENFELD 2-V 270T+Gosewehr, ME 100s TY10	34	Hyvä
34	103134	KRAUSS-MAFFEI 110T+ Gosewehr, ME 100s TY10	32	Erittäin hyvä
22	143122	BATTENFELD 250T+Gosewehr ME200 TY10	23	Huono/ ei mahdotonta
51	103151	KRAUSS-MAFFEI 80T+Gosewehr ME200 TY20	16	Erittäin huono
40	123140	BATTENFELD 150T+Gosewehr, ME 100s TY10	14	Hyvä
2749		Varastossa modifioitu Gosewehr		Erittäin hyvä
		Keskiarvo	41	


 Samanlaisia robotteja. Omassa varastossa ei ole käytettyjä (7204-Can) servovahvistimia. Robotti on kuitenkin MODIFIOITAVISSA

 Samanlaisia robotteja. Varastossa käytettyjä (7108-Can) servovahvistimia 2 kpl. Servovahvistin 7201- Can tyyppiä ei löydy varastosta.

 Samanlaisia robotteja. Varastosta löytyy käytettyjä (7108-Can) servovahvistimia 2kpl.

 Samanlaisia robotteja. Ei varaosien hankinta ongelmaa.

 Samanlaisia robotteja taajuusmuuttajilla. Ongelmana robotin tekniikan vanhentuminen.

 Ongelma on, ettei yrityksessä ole muita samanlaisia robotteja eikä alkuperäisiä servovahvistimia saatavilla. Yrityksessä ei ole käytettävissä modifiointimallia.

Gosewehr 2749  
kustannuslaskelma  
Laatinut: Anu Grönholm  
02.02.2010

Kohde: Gosewehr 2749 modifiointi.  
Kustannusten perusta: Laatu ja automatisoinnin tuomat edut.  
Kustannusten perustelut: Muutoksen jälkeen yrityksessä toimiva malli servovahvistimien vaihdosta aiheutuneiden ongelmien ratkaisuun.  
Säästöt: Henkilökapasiteetin säästöjä perustellaan tuotteen vaatimalla robotisoinnilla sekä laatu hyödyillä.

### Takaisinmaksuajan menetelmä

<b>Kohde: Gosewehr 2749</b>		Kulut
Can input module		140,88 €
Can output module		307,22 €
Can base module		204,20 €
Can power module		157,25 €
Robotin ohjelma Eeprom		120,00 €
Vahvistimet+ulkopuolinen työ		5 777,25 €
Työtunnit 120		2 400,00 €
<b>Yhteensä</b>		<b>9 106,80 €</b>

<b>Kohde: Gosewehr 2749</b>		Säästöt
Henkilökapasiteetin säästö/v		25 000,00 €
Laatu hyödyt		3 000,00 €
<b>Yhteensä</b>		<b>28 000,00 €</b>

<b>Takaisinmaksuaika vuosina</b>	<b>0,325</b>
----------------------------------	--------------

### Annuiteettimenetelmä

Vuosikoroksi laskelmaa varten on käytetty yrityksen pääoman tuottovaatimusta 10%	
0,374064973	pitoaika 0,4 vuotta
10 473,82 €	Nykyarvo

**Vertaamalla nykyarvoa hankintakuluihin investointi todetaan kannattavaksi 4 kuukauden kuluessa**

ERC 23 Robotin  
kustannuslaskelma  
Laatinut: Anu Grönholm  
02.02.2010

Kohde: Engel ERC 23

Kustannusten perusta: Tuotanto laitteiston uusiminen  
kilpailukyvyyn säilyttämiseksi

Kustannusten perustelut: Toimitusvarmuus

Säästöt:  
Laatu hyödyt Laatu hyödyt perustuvat aikaisempiin laskelmiin.  
Henkilökapasiteetin säästöt/ v

### Takaisinmaksuajan menetelmä

<b>Kohde: ERC 23</b>		Kulut
Perushinta		27 520,00 €
Lisävarusteet		8 477,00 €
Laite vauriokustannukset		2 000,00 €
Tarttuja		500,00 €
<b>Yhteensä</b>		<b>38 497,00 €</b>

<b>Kohde: ERC 23</b>		Säästöt
Henkilökapasiteetin säästö/v		25 000,00 €
Laatu hyödyt		3 000,00 €
Toimitusvarmuus		
<b>Yhteensä</b>		<b>28 000,00 €</b>

<b>Takaisinmaksuaika vuosina</b>	<b>1,375</b>
----------------------------------	--------------

### Annuiteettimenetelmä

Vuosikoroksi laskelmaa varten on käytetty pääoman tuottovaatimusta 10%	
1,414379188	pitoaika 1.6 vuotta
39 602,62 €	Nykyarvo

**Vertaamalla nykyarvoa hankintakuluihin investointi todetaan kannattavaksi 1.6 vuoden kuluessa**

Wittman W 281  
 Laatinut: Anu Grönholm  
 02.02.2010

Kohde: Wittman W 281

Kustannusten perusta: Tuotanto laitteiston uusiminen  
 kilpailukyvyn säilyttämiseksi

Kustannusten perustelut: Toimitusvarmuus

Säästöt:  
 Laatu hyödyt  
 Henkilökustannussäästöt/ v Laatu hyödyt perustuvat aikaisempiin laskelmiin.

### Takaisinmaksuajan menetelmä

<b>Kohde: Wittman W 281</b>		<b>Kulut</b>
Perushinta		22 400,00 €
Lisävarusteet		5 585,00 €
Laite vauriokustannukset		2 000,00 €
Tarttuja		500,00 €
Alennus		3 985,00 €
<b>Yhteensä</b>		<b>30 485,00 €</b>

<b>Kohde: ERC 23</b>		<b>Säästöt</b>
Henkilökapasiteetin säästö/v		25 000,00 €
Laatu hyödyt		3 000,00 €
Toimitusvarmuus		
<b>Yhteensä</b>		<b>28 000,00 €</b>

<b>Takaisinmaksuaika vuosina</b>	<b>1,089</b>
----------------------------------	--------------

### Annuiteettimenetelmä

Vuosikoroksi laskelmaa varten on käytetty pääoman tuottovaatimusta 10%	
1,080740948	pitoaika 1.2 vuotta
30 260,75 €	Nykyarvo

**Vertaamalla nykyarvoa hankintakuluihin investointi todetaan kannattavaksi 1.2 vuoden kuluessa**