



OHJAUSJÄRJESTELMÄN VAIHTAMISESTA SAATAVAT KUSTANNUS- SÄÄSTÖT JA VAATIVIEN ALIHANKINTAKAPPALEIDEN TOIMITUS- VARMUUDEN KEHITTÄMINEN

Santeri Kaurala

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio,
tuotantotalous

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio ja tuotantotalous

SANTERI KAURALA:

Ohjausjärjestelmän vaihtamisesta saatavat kustannussäästöt ja vaativien alihankintakappaleiden toimitusvarmuuden kehittäminen

Opinnäytetyö 74 sivua, joista liitteitä 19 sivua
Toukokuu 2015

Tämän opinnäytetyön taustalla oli työn tilaajana toimineen Afore Oy:n päätös ohjausjärjestelmän toimittajan vaihtamisesta puutteellisten väylätukien vuoksi. Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää Afore Oy:lle uusi alihankkija vaativille kappaleille. Tavoitteena oli kehittää näin kyseisten kappaleiden toimitusvarmuutta. Opinnäytetyön toisena tarkoituksena oli saada lisää tietoa ohjausjärjestelmän vaihdokseen liittyvistä hyödyistä ja tutkia Omronin ohjausjärjestelmän sopivuutta Afore Oy:n määrittämille koneille. Näin pyrittiin selvittämään ohjausjärjestelmän vaihdoksesta mahdollisesti saatavia taloudellisia hyötyjä Afore Oy:lle.

Vaativien alihankittavien kappaleiden kanssa suurin ongelma oli, että kaikki vaativat alihankittavat kappaleet tuotettiin yhdellä kooltaan pienellä alihankkijalla. Vaikka yhteistyö kyseisen yrityksen kanssa onkin toiminut hyvin, on Afore Oy:lle ajatuksena toimituksen estymisestä esimerkiksi sairauden tai konerikon takia. Selvitys uusista yhteistyökumppaneista tehtiin neliportaisesti 51:lle Suomessa toimivalle pienikokoiselle konepajalle. Selvityksen viimeiseen vaiheeseen suoriutui kolme konepajaa, joista yhtä voitiin pitää muita parempana vaihtoehtona.

Ohjausjärjestelmän vaihdoksessa käytiin useita keskusteluja Omronin Suomen myynnin kanssa sekä Afore Oy:n insinöörien kesken. Keskustelujen pohjalta koostettiin molempiin kohde koneisiin järjestelmä, joista pyydettiin alustava tarjous ja suoritettiin vertailu nykyisen käytössä olevan ohjausjärjestelmän sisäänostohintojen kanssa. Vertailun tuloksena ilmeni vaihdoksen olevan kannattava.

Työn tuloksena tehtiin kohdekoneisiin alustavat komponenttivalinnat Omronin ohjausjärjestelmään siirryttäessä sekä saatiin tieto vaihdoksen taloudellisesta hyödystä. Lisäksi löytyi yksi potentiaalinen alihankintakonepaja, jolta voidaan tilata haasteellisia kappaleita. Opinnäytetyö sisälsi luottamuksellista tietoa, joka on poistettu julkisesta raportista.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Industrial Engineering and Management

SANTERI KAURALA:

Saving Costs Through Replacement of Control System and Developing Demanding Subcontracted Components' Delivery Reliability

Bachelor's thesis 74 pages, appendices 19 pages
May 2015

The background of this thesis was customer Afore PLC's decision in changing control system supplier because of a lack of bus. The first purpose of this thesis was to find out a new partner for producing demanding subcontracting works. The second purpose was to get more information about control system change. The company wanted to know which economic benefits it could make and how well Omron system would fit Afore PLC's selected machines. The goal of this thesis was to improve the delivery reliability of demanding subcontracting works and to determine potential economic benefits that could be gained by in changing the control system.

The most significant problem in demanding subcontracting works was that all components were produced by one small size subcontractor. Interruption of supply caused by for example employee sickness or machine breakdown would be a considerable problem for Afore PLC. A four-step evaluation of possible new partners created, which included 51 Finnish workshops. Three workshops reached to the final step of this report, one of which could be regarded as the preferred option.

There were various conversations with Omron's Finnish sales and Afore PLC engineers. Based on these conversations a new control system, manufactured by Omron, was chosen as the best option. Tenders for the system were invited in order to compare them to the old control system's buy-in prices. The result was that the change to Omron is more cost-effective than the old system.

The results of this thesis were the preliminary selection of components in changing to Omron control system and economic benefits resulting from the change. The second result was discovering of one potential subcontracting workshop that can produce demanding subcontracting works. This bachelor's thesis contained confidential information that has been removed from the public report.

Key words: subcontracting, machine control system

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TYÖN TILAAJAN ESITTELY	8
	2.1 Yleisesti	8
	2.2 Tuotteet ja palvelut	8
3	TYÖN TAVOITTEET	11
	3.1 Lähtökohdat	11
	3.2 Ohjausjärjestelmän vaihdon tavoitteet.....	11
	3.3 Vaativien alihankittavien kappaleiden toimitusvarmuuden kehittämisen tavoitteet.....	13
4	OHJAUSJÄRJESTELMÄN VAIHTO	14
	4.1 Jetterin ohjausjärjestelmä.....	14
	4.1.1 Digitaaliset sisään- ja ulostulot	14
	4.1.2 Analogiset sisään- ja ulostulot	15
	4.1.3 Tiedonsiirto	16
	4.1.4 Servovahvistimet ja moottorit.....	16
	4.1.5 PLC	17
	4.2 Kronoksen ohjausjärjestelmä Jetterin komponenttien osalta.....	18
	4.3 Selenen nykyinen ohjausjärjestelmä Jetterin komponenttien osalta.....	19
	4.4 Selenen uusi alustava Omronin ohjausjärjestelmä.....	20
	4.5 Kronoksen uusi alustava Omronin ohjausjärjestelmä.....	25
5	OHJAUSJÄRJESTELMÄN VAIHDOSTA SAATAVA TALOUDELLINEN HYÖTY	28
	5.1 Jetterin ohjausjärjestelmällä toteutuneet hinnat	28
	5.2 Ohjausjärjestelmän hinta Omronilla toteutettaessa.....	31
	5.2.1 Kronoksen ohjausjärjestelmän hinta Omronin järjestelmään siirryttäessä	32
	5.2.2 Selenen ohjausjärjestelmän hinta Omronin järjestelmään siirryttäessä	36
6	VAIHTOEHTOINEN HIENOMEKAANINEN KONEPAJA	41
	6.1 Nykytilanne.....	41
	6.2 Tavoite	41
	6.3 Alihankintaan liittyvät riskitekijät	42
	6.4 Konepajojen etsintä ja arviointi	44
	6.5 Vaihtoehtoiset konepajat.....	46
7	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	51
	7.1 Ohjausjärjestelmän säästömahdollisuus.....	51
	7.2 Alihankintakonepajan valinta	52

LÄHTEET	55
LIITTEET	56
Liite 1. Esikarsiva sähköposti.....	56
Liite 2. Esimerkkikappale 1.....	57
Liite 3. Esimerkkikappale 2.....	58
Liite 4. Esimerkkikappale 3.....	59
Liite 5. Esimerkkikappale 4.....	60
Liite 6. Tarjous 1	61
Liite 7. Tarjous 2	62
Liite 8. Tarjous 3	63
Liite 9. Tarjous Selenen ohjausjärjestelmästä	64
Liite 10. Tarjous Kronoksen ohjausjärjestelmästä	68
Liite 11. Tarjous Selenen venttiilipaketista.....	72
Liite 12. Tarjous Selenen lämpötila- ja kosteusmittalaitteesta.....	74

LYHENTEET JA TERMIT

arcmin	arcminute; asteen kuudeskymmenesosa
CAM	Computer-Aided Manufacturing; tietokoneavusteinen valmistus
CAN	Controller Area Network; Ohjausväylä joka sisältää myös I/O tietoa
CANopen	Yleisesti käytössä oleva valmistajariippumaton CAN-väylä
DeviceNet	Avoin CAN-tekniikkaan perustuva väylä
EtherCAT	Ethernet for Control Automation Technology; Ethernet perustainen automaatiioväylä
EtherNet/IP	Ethernet TCP/IP ja UDP/IP perusteinen teollisuuden standardoitu Ethernet
I/O	Input/Output; yleisesti logiikan sisääntuloa/ulostuloa tarkoittava termi
Jetter System Bus	Jetter Ag:n oma väylä
Lead frame	Ohut metallilevy jossa valmiit puolijohdetuotteet ovat kiinni
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems; mikrosysteemit
Ohjausjärjestelmä	Järjestelmä joka sisältää kaikki prosessin ohjaukseen ja hallintaan liittyvät komponentit
PEEK	Polyeetterieetteriketoni; osakiteinen kestmuovi
PLC	Programmable logic controller; ohjelmoitava logiikka
Servomoottori	Paikkatiedon omaava AC tai DC sähkömoottori
Servovahvistin	Servomoottorin ohjaukseen käytettävä ohjain
SSI	Synchronous Serial Interface; absoluuttiantureissa laajasti käytetty sarjaliikenteeseen perustuva tiedonsiirtomenetelmä

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Afore Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, minkälaisia kustannussäästöjä voitaisiin saavuttaa vaihtamalla Afore Oy:n käyttämä Jetter Ag:n valmistama ohjausjärjestelmä Omronin ohjausjärjestelmään. Lisäksi haluttiin kartoittaa uusia potentiaalisia yhteistyökumppaneita hienomekaanisten konepajojen saralla.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada selkeä kuva siitä, kuinka suuri kustannussäästö ohjausjärjestelmän vaihdoksella saataisiin aikaan. Vaativien alihankittavien kappaleiden toimitusvarmuuden kehittämisen osalta työn tavoite on löytää uusia yhteistyökumppaneita ja sitä kautta parantaa osien toimitusvarmuutta. Uusien yhteistyöyritysten tulee olla kooltaan pieniä ja hienomekaniikkaan erikoistuneita konepajoja.

Ohjausjärjestelmän vaihdokseen liittyvä kustannussäästötutkimus kohdistuu pelkästään Afore Oy:n määrittämiin kahteen koneeseen. Tutkimuksessa selvitetään niiden ohjausjärjestelmän vaihdoksesta syntyvät muutokset ja niistä mahdollisesti aiheutuvat kustannukset sekä kustannussäästöt. Vaativien alihankittavien osien toimitusvarmuuden kehittämisen kannalta toimintaa tarkastellaan Suomessa toimivien alihankkijoiden kesken.

2 TYÖN TILAAJAN ESITTELY

2.1 Yleisesti

Alun perin Afore on perustettu vuonna 1995 tuotekehityspalveluja tarjoavaksi insinööri-toimistoksi. Vuonna 2008 Aforessa tapahtui osittaisjakautuminen. Konsulttisuunnittelu-toiminta siirtyi Afore Consulting Oy:hyn. Yritys työllistää tänä päivänä 20 henkilöä, joista 75 % on eri alan insinöörejä. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2014 4 miljoonaa euroa. (Afore Oy)

2.2 Tuotteet ja palvelut

Aforen vakiotuotteet liittyvät MEMS-antureiden käsittelyyn, testaukseen ja kalibrointiin. Yritys tarjoaa tuotteilleen myös koulutus-, huolto- ja varaosapalveluja. Tuotteiden testaus tapahtuu ”lead frame”- ja kiekkotasolla. MEMS-testikäsitteilyillä pystytään luomaan optimaaliset mittausolosuhteet sekä tarkat stimulaatiot kiihtyvyy-, kulmanopeus- ja painantureille. (Afore Oy)

Kuvassa 1 sivulla 9 on ”lead frame” -tasolla testaava Apollon, joka toimii täysin automaattisesti, ja on suunniteltu erityisesti gyroskooppien ja matalan g-alueen kulmanopeusantureille. Anturit voidaan testata $-50 - +150$ °C lämpötiloissa ± 1 °C tarkkuudella. Laitteen paikoitustarkkuus on $< 0,2$ ° sisältäen tuotteen paikoittamisen, ja toistettaessa $< 0,05$ °. Tuotteen toimintaa hallitaan 12 " värilliseltä kosketuspaneelilta, ja sen voi liittää kommunikoimaan oman järjestelmänsä kanssa Ethernetillä tai ASCII-protokollalla, jota esimerkiksi LabView käyttää. (Afore Oy)



Kuva 1 Apollon (Afore Oy)

Kuvassa 2 kiekkoasolla testaava Kronos on suunniteltu erityisesti gyroskoopeille ja kulmanopeusantureille. Kronoksen absoluuttinen paikoitustarkkuus on $< 0,1^\circ$ ja toistettaessa $< 0,05^\circ$. Tuotteen toimintaa hallitaan kahdelta 17" värilliseltä kosketuspaneelilta, joystickilla ja näppäimistöllä. Sen voi liittää kommunikoimaan oman järjestelmänsä kanssa Ethernetillä tai ASCII-protokollalla, jota esimerkiksi LabView käyttää. (Afore Oy)



Kuva 2 Kronos (Afore Oy)

Aforen kokemus tarkkuusmekaniikkaan on luonut yritykselle vahvan pohjan luoda lähes minkäläistä tahansa tuotantoautomaatiota, ja siksi sen tuotteet eivät rajoitu pelkästään MEMS-antureihin, vaan eri teollisuuden aloille. (Afore Oy)

Afore toimii yhtenä merkittävimmistä laserintegraattoreista Suomessa. Aforelta löytyykin vahva yli kymmenen vuoden osaaminen erilaisista laserautomaatiosovelluksista. Laserosaaminen on karttunut niin leikkaus- ja merkkauksovelluksissa kuin hitsaussovelluksissakin. (Afore Oy)

3 TYÖN TAVOITTEET

3.1 Lähtökohdat

Afore on aikoinaan päättänyt käyttämään saksalaisen Jetter Ag:n valmistamaa ohjausjärjestelmää. Järjestelmällä on saatu aikaan erittäin toimivia kokonaisuuksia. Ohjausjärjestelmän hyvänä ominaisuutena on sen tarjoama tuki käyttää useita akseleita.

Aforella on vain yksi alihankintakonepaja, jolla teetetään kriittisimpiä ja vaativimpia osia. Lisäksi on muita konepajoja, jotka toimittavat loput tarvittavista alihankituista kappaleista. Nykyisiin yhteistyökumppaneihin ollaan tyytyväisiä, mutta toimitusvarmuuden vuoksi halutaan tarkastella uusia mahdollisuuksia alalta.

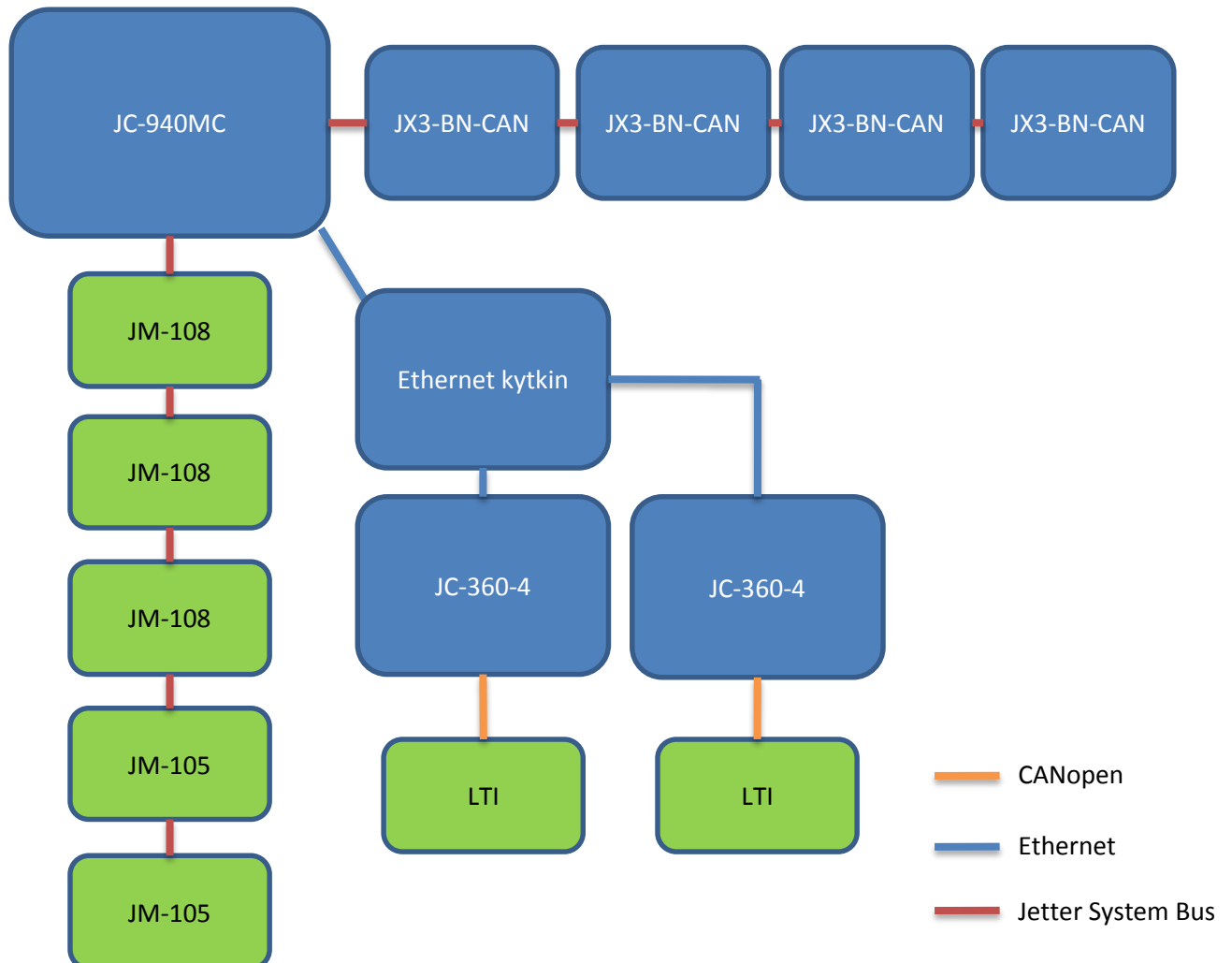
3.2 Ohjausjärjestelmän vaihdon tavoitteet

Ongelmaksi on muodostunut Jetterin kyky pystyä kommunikoimaan muiden järjestelmien kanssa melko heikosti. Järjestelmä on laajennettavissa CANopen-väylään, mutta samaan väylään ei saada enää Jetterin omaa Jetter System Bus:ia, jota kaikki Jetter Ag:n laitteet tukevat ja käyttävät natiivisti. Koska Jetterin laitteet eivät tue kuin omaa väylää, niin mitään muita kuin Jetterin valmistamia laitteita ei saada niiden kanssa samaan väylään. Jos ja kun muidenkin valmistajien laitteita tarvitaan, tulee ne rakentaa aina oman PLC:n taakse. Tämä on kallis ja hieman epäkäytännöllinen tapa päästä käsiksi CANopen-väylään, sillä tällöin järjestelmä tarvitsee aina toisen PLC:n kommunikointiin Jetter System Bus- ja CANopen-väylien välillä. (Afore Oy, Jetter Ag)

Kuviossa 1 sivulla 12 on esiteltynä Kronoksen kommunikointi, jossa kaksi JC-360-4 PLC:tä on kytkettynä Ethernetin kautta JC-940MC:een. JC-360-4:set ovat yhteydessä CANopen-väylän kautta Ltin:n valmistamiin servovahvistimiin. Mikäli kaikki Jetterin laitteet tukisivat CANopen-väylää, niin Lti:n vahvistimet voitaisiin kytkeä väylänjatkoksi Jetterin JM -sarjan vahvistimien tapaan. (Afore Oy, Jetter Ag)

Afore haluaa tutkia mahdollista säästöpotentiaalia ohjausjärjestelmän laadukkuudesta tinkimättä. Afore on jo käyttänyt entuudestaan joissakin sovelluksissaan Omronin ohjausjärjestelmiä. Omronin parempi tuki eri rajapintoja kohtaan on herättänyt mielenkiinnon.

Lisäksi Jetterin tuotteiden toimitus on ollut välillä hieman takkuilevaa. Yritys on päättänyt päästä kansainvälisille markkinoille, jolloin toimitusongelmiin ei ole varaa. Omronin tarjoama maailmanlaajuinen toimiva toimitusketju on myös yksi syy opinnäytetyön tekemiselle. (Afore Oy)



Kuvio 1 Kronoksen kommunikointi (Afore Oy)

Tavoitteena on tutkia kuinka suuri säästö vaihdosta Omroniin on mahdollista saada aikaan. Lisäksi tutkitaan millaisilla kokoonpanoilla kohdekoneiden ohjausjärjestelmät olisi mahdollista toteuttaa ominaisuuksien kärsimättä. Tutkielma on tarkoitettu kohdistaa pelkästään Jetteriltä hankittuihin osiin. (Afore Oy)

3.3 Vaativien alihankittavien kappaleiden toimitusvarmuuden kehittämisen tavoitteet

Afore haluaa varmistaa vaativien ja kriittisiksi muodostuneiden kappaleiden toimitusajat ja varmuuden hankkimalla uusia yhteistyökumppaneita, sekä tarkastaa samalla alihankinnan hintatason. Tavoitteena on löytää vähintään yksi uusi alihankkija, joka pystyy vastaamaan sille asetettuihin laadullisiin ehtoihin. (Afore Oy)

Kyseinen toimittaja tulisi toimimaan nykyisen alihankkijan kanssa rinnakkain. Tällaista toimintatapaa nimitetään rinnakkaishankinnaksi. Rinnakkaistoiminnalla saadaan paras toimittajaehdokkuus, mikäli toiminta on keskenään kilpailevaa ja se toimii pitkällä aikavälillä. Tällainen toiminta on mahdollista, mikäli tuote on samankaltainen.

Uuden konepajan löytäminen on strategisestikin hyvin kannattavaa. Se ei välttämättä tuo välittömiä kustannussäästöjä alihankinnasta hankituissa osissa. Pidemmällä tähtäimellä uuden toimittajan löytäminen toisen rinnalle mahdollistaa kuitenkin paremman riskien hallinnan vaativille ja yritykselle elintärkeille osille.

4 OHJAUSJÄRJESTELMÄN VAIHTO

4.1 Jetterin ohjausjärjestelmä

Tässä kappaleessa käydään läpi Jetter Ag:n ohjausjärjestelmän osia Afore Oy:n käyttämin osin. Järjestelmät esitellään vain oleellisten tietojen osalta. Yleinen tapa kytkeä Jetterin moduuleita, on kytkeä ne vierekkäin din-kiskoon. Tällöin moduulit kytkeytyvät keskenään X119-liittimien avulla. JX3-moduulit kytkeytyvät kahdeksan sarjoihin, sillä teholähteen teho riittää sähköistämään niiden logiikkapiirit. Tämän jälkeen pitää asentaa toinen virtalähde. Virtalähde löytyy JC-3xx keskusyksiköistä, JX3-BN-xxx väyläpääteistä tai JX3-PS1 virtalähteestä. Kaikki Jetterin ohjausjärjestelmän komponentit toimivat 24 VDC:n jännitteellä, lukuun ottamatta servokäyttöjä.

4.1.1 Digitaaliset sisään- ja ulostulot

Afore Oy käyttää järjestelmissään digitaalisina sisääntuloina JX3-DI16-moduuleja. Näissä moduuleissa on 16 digitaalista sisääntuloa. Moduulissa on mahdollista tehdä pulssin pidennystä 7,5 ms asti. Lähtöihin voidaan ohjelmoida suodatus, joka voi olla pituudeltaan 0,125 – 16 ms. Moduuli on kytkennältään PNP -tyyppinen eli sen tuloon tuodaan jännite. (Jetter Ag)

Ulostuloina käytetään JX3-DO16-moduuleja. Moduuleissa on 16 digitaalilähtöä. Jokaista lähtöä voidaan rasittaa maksimissaan 0,5 A:n verran. Moduuli on suojattu oikosulkuun, ylikuormitusta, ylikuumentumista, vastanapaisuutta sekä induktiivisia kuormia vastaan. Lähdeistä voidaan tehdä pulssinleveysmodulaatio-ohjattuja, jolloin taajuus voidaan säätää toimimaan välillä: 0,4768 – 1,008 Hz. (Jetter Ag)

Näiden kahden perusmoduulin lisäksi on olemassa JX3-DIO16-moduuli. Tämä moduuli on kahden edellisen välimuoto, sillä siinä on kahdeksan digitaaliulostuloa ja kahdeksan digitaalista sisääntuloa. Erikoisuutena on, että lähtöjä voidaan käyttää myös sisääntuloina, jolloin se on tarvittaessa kuten JX3-DO16. Sisääntulojen ja ulostulojen ominaisuudet ja tekniset tiedot ovat samanlaiset kuin edellä mainituissa JX3-DI16:ssä ja JX3-DO16:ssä. (Jetter Ag)

4.1.2 Analogiset sisään- ja ulostulot

Analogisina sisääntuloina Jetteriltä löytyy JX3-AI4-moduuli. Tämä moduuli sisältää yhteensä neljä 16-bittisellä resoluutiolla varustettua analogista sisääntuloa. Sisääntulo signaali voi olla jänniteviestinä joko 0 – 10 V tai -10 - +10 V. Mikäli käytetään virtasignaalia, tulee sen olla joko 0 – 20mA tai 4 – 20 mA. Signaalin maksimitaajuus voi olla 200 Hz. (Jetter Ag)

Afore Oy käyttää analogisina lähtöinä JX3-AO4-moduuleja. Moduuli tarjoaa neljä 16-bittisellä resoluutiolla varustettua analogista lähtöä. Se pystyy tuottamaan samat jännite- ja virtaviestit kuin JX3-AI4 pystyy vastaanottamaan. (Jetter Ag)

Kahden perusmoduulin lisäksi löytyy myös näiden yhdistelmiä. Jetter valmistaa kahta erilaista MIX-moduulia, joista Afore Oy:llä on käytössä JX3-MIX2. Moduulissa on kolme 12-bittisellä resoluutiolla varustettua analogista sisääntuloa. Analogiatuloihin voidaan syöttää jänniteviestinä 0 – 10 V. Moduulista löytyy myös yksi analoginen lähtö, josta saadaan ulos jänniteviesti 0 – 10 V 12-bitin resoluutiolla. Analogisten toimintojen lisäksi MIX2 sisältää myös digitaalisia tuloja tai vaihtoehtoisesti lähtöjä neljä kappaletta. MIX2:ta voidaan käyttää askelmoottorin ohjaamiseen. Askelmoottorikäytössä sen taajuus voi olla korkeintaan 10kHz. Moduulissa on myös laskuritoiminto, joko yhdelle kaksikanavaiselle tai kahdelle yksikanavaiselle maksimissaan 50 kHz taajuudella toimivalle pulssianturille. Lisäksi moduulissa on sarjaportti RS-232/RS-485. (Jetter Ag)

Tarkkaan lämpötilamittaukseen on valikoitunut JX3-THI2-TC. Moduulissa on kaksi kappaletta termoparituloja. Moduuli tukee J-, K-, B-, E-, N-, R-, S- ja T-tyypin termopareja. Moduulin tarkkuudeksi on ilmoitettu 0,01 °C. Ohjelmallinen suodatus on mahdollista tehdä 1 – 64 -kertaisesti. Moduulissa on integroitu liittimien lämpötilan kompensointi. (Jetter Ag)

Laskuritoiminnot pulssianturille on toteutettu JX3-CNT-moduulilla. Moduulista löytyy 24 V:n yksi- ja kaksikanavainen tulo sekä 5 V:n kaksikanavainen tulo inkrementtianturille. Absoluuttianturit on mahdollista kytkeä SSI-anturituloon. (Jetter Ag)

4.1.3 Tiedonsiirto

Afore Oy käyttää koneissaan JX3-BN-CAN-moduulia. Kyseinen moduuli käyttää kommunikointiin Jetterin omaa Can-väylää, joka on Jetter System Bus. Moduulin avulla on mahdollista liittää JX3-laajennusyksiköitä järjestelmään. Sen oma jännitelähde riittää kahdeksalle moduulille. Lisättäessä ylimääräinen jännitelähde voidaan sen taakse kytkeä jopa 256 digitaalista I/O-pistettä tai 64 analogista I/O-pistettä eli yhteensä 16 moduulia. (Jetter Ag)

Keskusyksiköiden välinen kommunikointi tapahtuu Jetterin omalla väylällä. JC940MC keskusyksikköön kyseinen toiminto on tehtävä erillisellä laajennusyksiköllä JX6-SB-I. JC360 keskusyksikössä sen sijaan se löytyy valmiina.

4.1.4 Servovahvistimet ja moottorit

Afore Oy:llä on käytössä neljää eri merkkistä sähkömoottoria, joita ohjataan Jetter Ag:n valmistamilla servovahvistimilla. Kaksi erilaista vaihteellista Merkesin valmistamaa jarrutonta servomoottoria MT1-0020-40-48 ja MH2-0020-30-48 toimivat 48 VDC:n jännitteellä. Samoin Jetter Ag:n valmistamat mallit toimivat 48 VDC:n jännitteellä. Pienemmät moottorit toimivat 24 VDC:n jännitteellä. Nämä moottorit ovat Micro Motorsin valmistama E192-sarjan moottori ja Maxonin valmistama harjallinen A-max -sarjan tasavirtamoottori, sekä harjaton jarrulla varustettu EC-max -sarjan dc-moottori. Niiden oleelliset tekniset tiedot on lueteltuna oheisessa taulukossa 1. Taulukossa on esitetty servomoottorin nimellismomentti (M_n), pitomomentti (M_{BR}), maksimimomentti (M_{MAX}), nimellispyörimisnopeus (N_n) sekä nimellisvirta (I_n).

Taulukko 1 (Jetter Ag)

Moottorin malli	M_n (Nm)	M_{BR} (Nm)	M_{MAX} (Nm)	N_n (rpm)	I_n (A)	M_{vaihte} (Nm)	N_B (rpm)	Vaihteiston suhde
A-max 32: 236655 i=18	0,0373	0,130	-	4210	1,01	0,67	234	18:1
EC-max 32: 272765 i=14	0,0641	0,519	-	8130	1,4	0,90	581	14:1
E192.24.25	0,0032	-	0,9	2950	0,88	0,08	118	25:1
MH2-0020-30-48 i=20	0,25	0,26	1	3000	3,2	5	150	20:1
MT1-0020-40-48 i=200	0,2	0,2	0,36	4000	2,1	40	20	200:1
JHN2-0028-005-6-RV	0,26	0,28	0,96	3000	3,5			
JH2-0053-06-4RV	0,49	0,53	2,0	3000	5,6			
JH2-0053-06-6RVB	0,49	0,53	2,0	3000	5,6			
JHN2-0075-006-6RV	0,71	0,75	3,3	3000	7,7			
JHN2-0095-008-6RVBS-A	0,91	0,95	3,8	3000	7,3			
JHN2-0095-008-6RVB	0,91	0,95	3,8	3000	7,3			

Taulukossa 2 on avattu servomootorin mallikoodi. Taulukon avulla voidaan päätellä, että osa moottoreista on varustettu 24 VDC:n jarrulla. Valmistaja ilmoittaa JH- ja JHN-sarjan runkokoon 2 jarrujen pitomomentin olevan 2 Nm. JH- ja JHN-sarjojen resolverien tarkkuus on ± 10 arcmin. Kaksi moottoreista on saksalaisen Merkes GmbH:n valmistamia. Nämä moottorit ovat jarruttomia ja malliltaan MH2-0020-30-48 ja MT1-0020-40-48. Kaikki servomootorit toimivat 48 VDC:n jännitteellä. (Jetter Ag)

Taulukko 2 (Jetter Ag, muokattu)

JHN	2	0095	008	6	R
Mootorin sarja	Rungon koko	Pitomomentti	Sähkömotorinen voima	3 Terminen virran katkaisija 145 °C	Akselin toleranssi
JL	1	(Ncm)	(V/1000min ⁻¹)	4 Terminen virran katkaisija PTC	R DIN 42955R
JK	2	Esim. kyseinen moottori	Esim. kyseinen moottori	5 Terminen virran katkaisija NTC	
JH	3	95 Ncm = 0,95 Nm	8 V/1000min ⁻¹	6 KTY83-110	
JHN	4				
	5				
	6				
V	B	S			
IP luokitus	Jarru	Liitântätapa			
V IP65 (ilman akselin tiivistettä)	B Jarru 24 VDC	S Elektroninen liitântä			
V1 IP64 (ilman akselin tiivistettä)		_ Pystysuuntainen liitântätapa			
V4 IP67 akselitivistteellä (koot 2-8)		S-A Plugi liitântä D pääte			
		S-B Plugi liitântä ND pääte			
		S-X Plugi liitântä pyörivä malli			
		S4-xxx.x Tiivistysholkki kaapelilla, kaapelin pituus metreinä, liittimillä varustettuna			
		S-41-xxx.x Tiivistysholkki kaapelilla, kaapelin pituus metreinä, keskusliittimillä			

Käytössä olevat Jetterin valmistamat servovahvistimet ovat malleiltaan JM-105 ja JM-108. Mallit ovat ominaisuuksiltaan samanlaiset. Poikkeavuus on niiden virran käsittelyn koossa. JM-105 pystyy tarjoamaan moottorille maksimissaan 16,5 A, kun taas JM-108 pystyy syöttämään maksimissaan 27,5 A moottorille. Molemmat on tarkoitettu toimimaan 24 / 48 VDC:n servomootoreiden vahvistimina. (Jetter Ag)

4.1.5 PLC

Afore Oy käyttää kyseisissä laitteissa Jetterin valmistamia JetController JC940MC-24-E3+2x JC6-SBI ja JC360-4 -keskusyksiköitä. JC-940MC on vaativimpiin sovelluksiin tarkoitettu tehokkaan laskentatehon omaava keskusyksikkö. Keskusyksikköä valmistetaan kolmea eri mallia. Mallikohtaiset erot liittyvät ohjattavien akselien määrään. Kyseisellä JC940MC-24-E3+2x mallilla voitaisiin ohjata 24:ää servoa ja se on varustettu kahdella SystemBus lisäkortilla, jotka mahdollistavat sen liittämisen Jetterin omaan väylään. Lisäksi mallissa on liitântä sarjaliikenteelle, neljä usb -porttia sekä kolme Ethernet -porttia. (Jetter Ag)

JC-360 on teknisiltä tiedoiltaan pelkistetympi kuin JC-940MC. Moduulia valmistetaan myös kolmea eri mallia. Mallierot liittyvät ohjattavien akselien määrään. Aforen käyttämä JC-360-4 pystyy ohjaamaan neljää servoa. Se liitetään JC-940MC:hen Jetterin omalla väylällä. Lisäksi siinä on sarjaliikenneportti ja kaksi Ethernet porttia. (Jetter Ag)

4.2 Kronoksen ohjausjärjestelmä Jetterin komponenttien osalta

Kronoksen ohjausjärjestelmässä on yhteensä 70 digitaalista ulostuloa ja 89 digitaalista sisääntuloa. Lisäksi järjestelmässä on 8 analogialähtöä ja 4 analogiatuloa. Kronoksessa on Cognexin Dataman 50- ja Dataman 8050-konenäkökamerat, jotka ovat liitettynä sarjaportin kautta JX3-MIX2-moduuliin. Lisäksi koneessa on lämpötilan mittaus termoparielementillä. Moduulit eivät ole kaikki samassa kiskossa, vaan niitä on hajautettuna ympäri konetta. Tähän on tarvittu neljä JX3-BN-CAN-moduulia. Järjestelmän I/O on toteutettu taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3 Kronoksen I/O-moduulit

Osa	Malli	Määrä (kpl)
Digitaalilähtö	JX3-DO16	4
Digitaalitulo	JX3-DI16	3
Digitaali I/O	JX3-DIO16	4
Lämpötilan mittaus	JX3-THI2-TC	1
Analogiatulo	JX3-AI4	2
Analogialähtö	JX3-AO4	1
I/O	JX3-MIX2	2

Kronoksessa on yhteensä seitsemän servo-ohjattua liikeakselia. Kaksi tehokkainta on toteutettu Lti:n servovahvistimilla ja Etelin moottoreilla. Lti:n ja JC-940MC:n väliseen kommunikointiin tarvitaan JC-360-4. Lti:n ja Etelin yhteistyö on todettu toimivaksi keskenään ja ne halutaan jättää ennalleen, koska uusia vastaavia on haastavaa löytää. Sen sijaan JC-360-4:sta halutaan eroon, sillä sen tehtävänä on vain suorittaa kommunikointia JC-940MC:n ja Ltin:n välillä. Syynä tähän on, että JC-940MC ei tue tarvittavaa väylää. Loput viisi akselia on toteutettu Jetterin JM-108- ja JM-105-servovahvistimilla. Näistä kolme JM-108:aa ohjaavat Jetterin valmistamia JHN-sarjan servomoottoreita. Jäljelle jäävät kaksi JM-105:ttä ohjaavat Maxonin valmistamia tasavirtamoottoreita. Nämä moottorit ja niiden ohjaukset ovat esiteltyinä taulukossa 4 sivulla 19. Taulukosta käy ilmi, että Maxonin A-max 32:ta käytetään Jetter Ag:n valmistamalla servovahvistimella. Kyseinen

moottori ei kuitenkaan tarvitsisi servokäyttöä ja se tullaan vaihtamaan Electromen Oy:n valmistamaan tasavirtamoottorin ohjaimen. Loput moottoreista vaihdetaan Omronin vastaaviin.

Taulukko 4 Kronoksen moottorit

Moottorin tyyppi	Moottorin malli	Moottorin ohjain
Jarrullinen servomoottori	JHN2-0095-008-6RVBS-A	JM-108
Jarrullinen servomoottori	JHN2-0095-008-6RVB	JM-108
Servomoottori	JHN2-0028-005-6-RV	JM-108
Harjaton jarrullinen dc moottori	EC-max 32: 272765	JM-105
Dc moottori	A-max 32	JM-105

4.3 Selenen nykyinen ohjausjärjestelmä Jetterin komponenttien osalta

Selenen ohjausjärjestelmä sisältää yhteensä 144 digitaalituloa ja 144 digitaalilähtöä. Analogialähtöjä on kolme ja analogiatuloja kaksi. Järjestelmästä löytyy Cognexin Insight 1110- ja Dataman 50 -konekameran, jotka ovat yhdistettyinä sarjaliikenneportin kautta JX3-MIX2-moduuleihin. JX3-MIX2-moduuleihin on kytketty myös kaksi Vaisalan HMT330:tä, joiden tehtävänä on mitata lämpökaappien lämpötilaa ja kosteutta.

Koska moduulit on sijoitettu ympäri konetta, niiden tiedonsiirtoon JC-940MC:n kanssa on tarvittu kolme JX3-BN-CAN-moduulia. Yhdessä paikassa moduuleja on peräkkäin samassa kiskossa enemmän kuin kahdeksan, jolloin tähän on lisäksi tarvittu vielä erilliset virtalähteet logiikoille. Järjestelmän I/O on toteutettu taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 5 Selenen I/O-moduulit

Osa	Malli	Määrä (kpl)
Digitaalitulo	JX3-DI16	9
Digitaalilähtö	JX3-DO16	9
Analogialähtö	JX3-AO4	1
Analogiatulo	JX3-AI4	1
I/O	JX3-MIX2	4
Laskuri tulo	JX3-CNT	1

Taulukossa 6 on esiteltyä Kronoksen moottorit ja niiden ohjaukset. Taulukosta on jätetty pois Etelin moottorit sekä näiden vahvistimet, sillä kyseisiä moottoreita ei tulla vaihtamaan. Kaiken kaikkiaan Selenessä on 18 akselia, joista 17 on servomoottoreita. Koska kone on ensimmäinen laatuaan, jälkikäteen koeajojen myötä on havaittu tasavirtamoottorin servokäytön olevan turha. Se tullaan vaihtamaan Electromen Oy:n valmistamaan tasavirtamoottorin ohjaimeen. Kyseinen Micro Motorsin moottori jätetään järjestelmään, mutta kaikki muut moottorit tullaan vaihtamaan Omronin vastaaviin.

Taulukko 6 Selenen moottorit

Moottorin tyyppi	Moottorin malli	Moottorin ohjain
Tasavirtamoottori	E192.24.25	JM105
Servomoottori	JH2-0053-06-4RV	JM105
Servomoottori	JH2-0053-06-4RV	JM108
Servomoottori	JH2-0053-06-4RV	JM105
Servomoottori	JH2-0053-06-4RV	JM108
Servomoottori	JH2-0053-06-4RV	JM105
Jarrullinen servomoottori	JH2-0053-06-6RVB	JM105
Jarrullinen servomoottori	JH2-0053-06-6RVB	JM105
Servomoottori	JHN2-0075-006-6RV	JM108
Servomoottori	JHN2-0075-006-6RV	JM108
Servomoottori	JHN2-0075-006-6RV	JM108
Servomoottori	JHN2-0075-006-6RV	JM108
Jarrullinen servomoottori	JHN2-0095-008-6RVB	JM 108
Jarrullinen servomoottori	JHN2-0095-008-6RVB	JM108
Servomoottori	MH2-0020-30-48	JM105
Servomoottori	MT1-0020-40-48	JM105

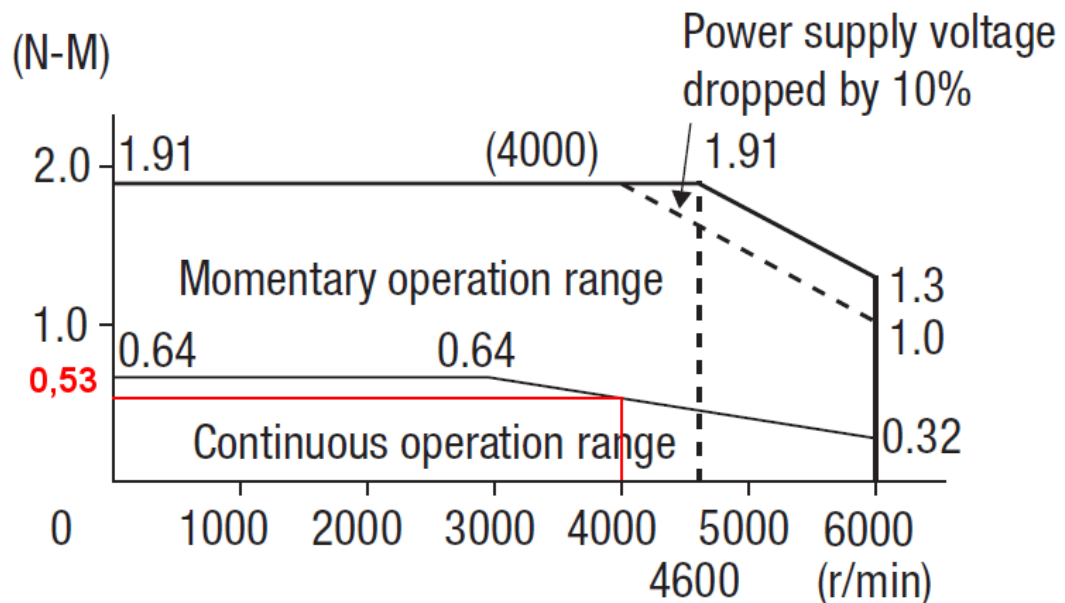
4.4 Selenen uusi alustava Omronin ohjausjärjestelmä

Servomoottoreiden mitoittamisessa oleellista on niiden aikaansaama momentti eri kierrosnopeuksilla. Tästä syystä Omronilta valittavien servomoottorien tulee aikaansaada vähintään sama nimellismomentti kuin Jetterin. Toinen huomioitava asia on moottorin pyörimisnopeus. Selenessä olevien moottoreiden nimellisyörimisnopeus on suurimmassa osassa 3000 rpm. 3000 rpm moottorit voidaan suoraan korvata Omronin Accurax-sarjan moottoreilla. Selenen on kuitenkin asennettu yksi moottori, jonka nimellisyörimisnopeus on 4000 rpm. Kyseistä moottoria ei voitu suoraan vaihtaa pelkän nimellismomentin perusteella, koska Omronin valikoimasta ei löydy 4000 rpm nimellisyörimisnopeuden

omaavia servomoottoreita. Ongelman ratkaisuna on servomoottorin ajaminen yli nimellisa nopeudella.

Servomoottorin, niin kuin sähkömoottorin yleisestikin, vääntö vähenee kierrosten noustessa. Toisin sanoen, vaikka servomoottoreita voidaan ajaa yli nimellisa nopeuksien, niin se tapahtuu väännön kustannuksella. Ongelma ratkaistiin siten, että tilalle katsottiin suuremman nimellisa vääntömomentin omaava servomoottori, jonka vääntö moottorin ominaiskäyrältä 4000 rpm kohdalla luettuna oli tarvittavan 0,2 Nm verran. Kuviossa 2 on esiteltynä 4000 rpm pyörivälle Merkesin servomoottorille sopiva korvaava Omronin servomoottori, jonka vääntömomentti on noin 0,5 Nm 4000 rpm pyörimisa nopeudella. Valittu moottori ylittää vaatimuksen, mutta seuraava pienempi olisi jäänyt liian tehottomaksi 4000 rpm pyörimisa nopeudella. (Omron Electronics Oy)

R88M-K20030H/T (200 W)



Kuvio 2 Omron Accurax G5 R88M-K20030H/T servomoottorin ominaisvääntökäyrä (Sysmac Catalogue, muokattu)

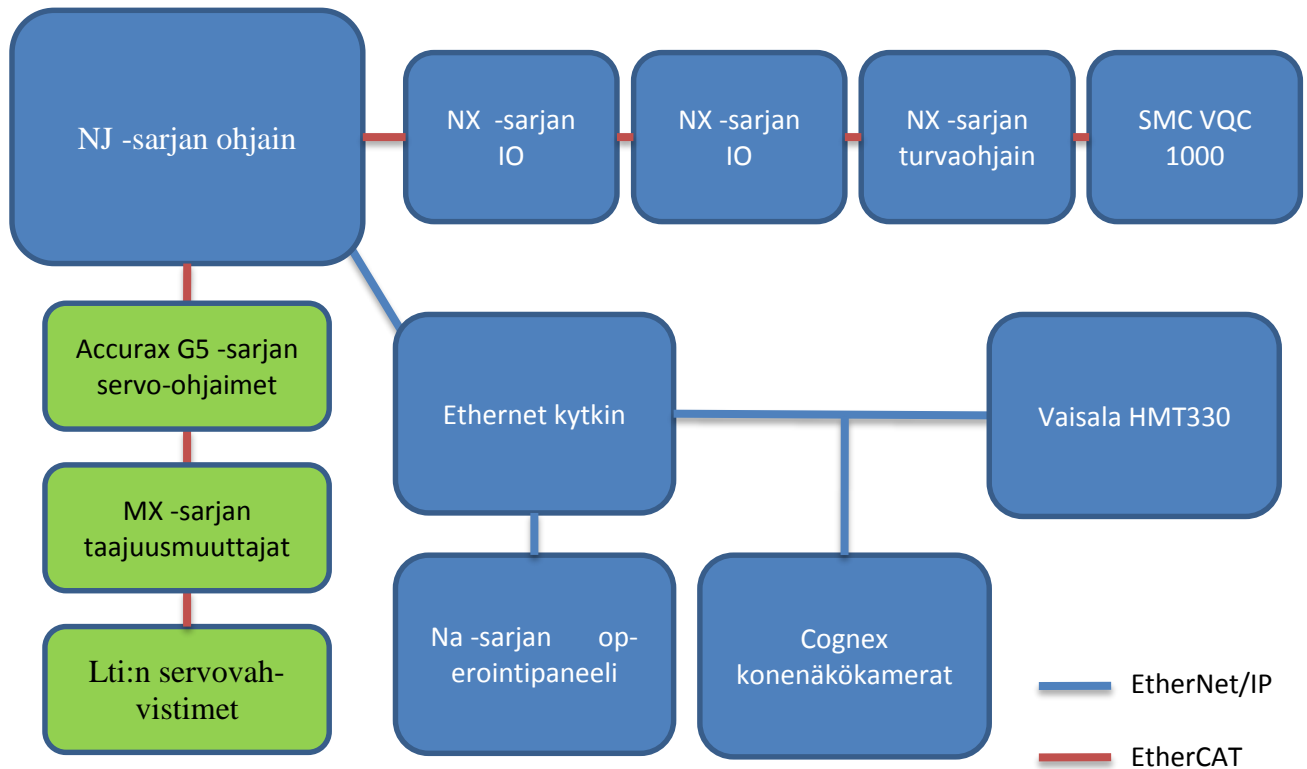
Selene on ensimmäinen laatuaan ja siihen suoritetaan vielä koeajoja. Koeajojen myötä osassa moottoreissa havaittiin liiallisen suuria virtamääriä, joten niiden kokoa päätettiin kasvattaa suuremmaksi. Rajoituksena oli, että niiden fyysinen koko ei saisi juurikaan kasvaa. Fyysisten rajojen puitteissa servomoottorien nimellisa vääntöä oli Omronin valmista-

mien Accurax G5 -sarjan servomoottorien avulla mahdollista kasvattaa jopa lähes puolella osassa paikoissa. Lisäksi Omron tarjoaa kyseisille servoille optiona absoluuttianturia, jolla korvataan Soak Trackin vanha erillinen absoluuttianturi. (Afore Oy, Omron Electronics Oy)

Taulukossa 7 sivulla 25 on esiteltynä Selenen ohjausjärjestelmä Omronilla toteutettaessa. Lopullinen järjestelmä esitellään Omronilta saadun tarjouksen perusteella. Taulukossa on esiteltynä Omronin uusi tuote ja sen korvaama osa. Omronin myynti-insinöörin kanssa käytyjen keskustelujen perusteella järjestelmäksi valikoitui nykyaikainen Sysmac -sarja. PLC-ohjain valikoitui Omronin uudesta NJ-sarjasta ohjattavien akselien lukumäärän perusteella. Tähän valittiin tarpeelliset määrät vaadittavia modulaarisia NX -sarjan I/O-kortteja. Kaikki I/O:t ovat perussarjaa, sillä esimerkiksi aikaleimaukselle ei toistaiseksi ole tarvetta. Tämä johtuu varmasti siitä, että Jetter Ag:n järjestelmässä tällaisia ominaisuuksia ei ollut suoraan valittavana. Vaikka näissä koneissa ei ole vielä tarvittu niitä, antaa se tulevaisuudelle hyvän mahdollisuuden soveltaa kyseistä ominaisuutta joissain toisissa projekteissa.

Jetter Ag:n ohjausjärjestelmän kanssa ongelmaksi muodostuneen väyläpuutteiden sijaan Omronin PLC:ssä on sisäänrakennettuna kaksi erittäin hyvin tuettua väylää; EtherCAT ja EtherNet/IP. Sysmac-sarjan PLC:hen voidaan laajentaa CJ-sarjan korttien avulla myös DeviceNet, RS-232C, RS-422A/RS-485 Profinet:IO, CompoNet ja Profibus-DP. (Omron Electronics Oy)

Kuviossa 3 sivulla 23 on graafisesti esiteltynä Selenen kommunikointi Omronin järjestelmällä. Omronin tarjoaman paremman väylätuen ansiosta kommunikointi yksinkertaistuu ja eri valmistajien laitteiden kytkeminen osaksi järjestelmää mahdollistuu. Vanhasta järjestelmästä tutut Lti:n vahvistimet tukevat suoraan EtherCAT:ia, joten ne on helppo liittää väylään. EtherCAT:iin liitetään myös lähes kaikki Omronin omat tuotteet, joten Omronilla toteutettaessa suurin osa järjestelmästä hyödyntäisi EtherCAT:ia. Selenessä operointipaneeli on kiinni PLC:ssä, joten se vaihdetaan Omronin vastaavaan NA -sarjan näyttöön. Vanhassa järjestelmässä käytetyt Vaisalan HMT-330 ja Cognexin konenäkökamerat vaihdettaisiin Ethernetiä tukeviin malleihin. Näin Vaisalan HMT-330, Omronin operointipaneeli ja Cognexin konenäkökamerat käyttäisivät EtherNet/IP:tä.



Kuvio 3 Selenen kommunikointi Omronin järjestelmällä

Lämpökaappien oikosulkumoottorien Schneider Electric:in valmistamat taajuusmuuttajat vaihdetaan Omronin taajuusmuuttajiin ja ne asennetaan EtherCAT:iin. Tämä tuo säästöjä asennustyössä, sekä analogialähtöjen ja digitaalitulojen ja -lähtöjen määrässä.

Pneumatiikan osalta ohjaus on entuudestaan hoidettu SMC:n valmistamalla Vqc 1000-sarjan venttiilipaketilla. Tämä on mahdollista liittää EtherCAT:iin, jolloin säästetään yhteensä 28 digitaalilähtöpaikkaa, asennustyössä sekä pneumatiikkaosissa.

Nykyinen Pilz GmbH & Co. KG:n valmistama turvaohjainjärjestelmä vaihdettaisiin Omronin valmistamaan modulaariseen NX-sarjan turvajärjestelmään. NX-sarjan turvaohjain ja liitäntäpisteet on mahdollista kytkeä samaan tapaan, kuin NX-sarjan tavalliset I/O-kortit EtherCAT:in kautta järjestelmään.

Taulukko 7 Selenen ohjausjärjestelmä Omron

Osa	Mallitarkenne	Vaihtoehtoinen	Määrä	Korvattava komponentti
Ohjelmointi ohjelma + lissenssi	SYSMAC-SE	-	1	
PLC	NJ501-1420	-	1	JC-940MC-24-E03+PCI+2xJX6-SB-1
PLC virtalähde	NJ-PD3001	-	1	
Operointipaneeli	NA5-15W101S	NA5-12W101S	1	eTOP513-White
Ethercat slave	NX-ECC202	-	2	JX3-BN-CAN
Digitaalitulo 16ch	NX-ID5442	-	8	JX3-DI16
Digitaalilähtö 16ch	NX-OD5256	-	8	JX3-DO16
Analogiatulo 4ch (4..20mA)	NX-AD2203	-	1	JX3-AI4
Analogialähtö 2ch (-10..10V)	NX-DA2603	-	1	JX3-AO4
Lämpötilan mittaus (2x Pt100)	NX-TS2201	-	1	OMRON PID
Sarjaliikenneportti	CJ1W-SCU22	-	1	JX3-MIX2
Turvaohjain	NX-SL3300	-	1	PNOZ m B0
Turva digitaalitulo 8ch	NX-SID800	-	6	PNOZ m 8DI4DO + PNOZ m 16DI
Turva digitaalilähtö 4ch	NX-SOD400	-	4	PNOZ m 8DI4DO
Jarrullinen servomoottori	R88M-K40030HBS2	-	2	JHN2-0095-008-6R/VB
Servomoottori	R88M-K40030HS2	-	8	JHN2-0075-006-6R/V + JH2-0053-06-4R/V
Jarrullinen servomoottori	R88M-K20030HBS2	-	3	JH2-0053-06-6R/VB + JH2-0053-06-4R/V >muutetaan jarrulliseksi
Servomoottori vaihteella ja absoluuttianturilla	TPK+010S-MF3-200-OB1 / R88M-K20030TS2	-	1	MT 1-0020-40-48 i=200 + AVSS58N
Servomoottori vaihteella	LP 050S-MF2-20-1B1 / R88M-K10030HS2	-	1	MH2-0020-30-48 i=20
Servovahvistin	R88D-KN01HECT	-	1	JM-105
Servovahvistin	R88D-KN02HECT	-	4	JM-105/JM-108
Servovahvistin	R88D-KN04HECT	-	10	JM-108
Micro Motors DC moottori	E192.24.25	-	1	ei vaihdeta - ohjausmuuttuu
DC moottorin ohjaus	EM-175DC	-	1	JM-105
Taajuusmuuttaja	3G3MX2-AB004-E	-	2	Schneider ATV12H05M2
Taajuusmuuttajan Ethercat optio	3G3AX-MX2-ECT	-	2	JX3-AO4
Servomootorin kaapeli (Pow.+enc.)	1.5m + 3m + 6m hinnat	-	15kpl	
SMC ethercat liittämä	EX-260-SEC3	-	2	JX3-DIO16
2D lukija	Dataman 60	-	2	Dataman 50
Vaisalan Ethernet optio		-	2	

4.5 Kronoksen uusi alustava Omronin ohjausjärjestelmä

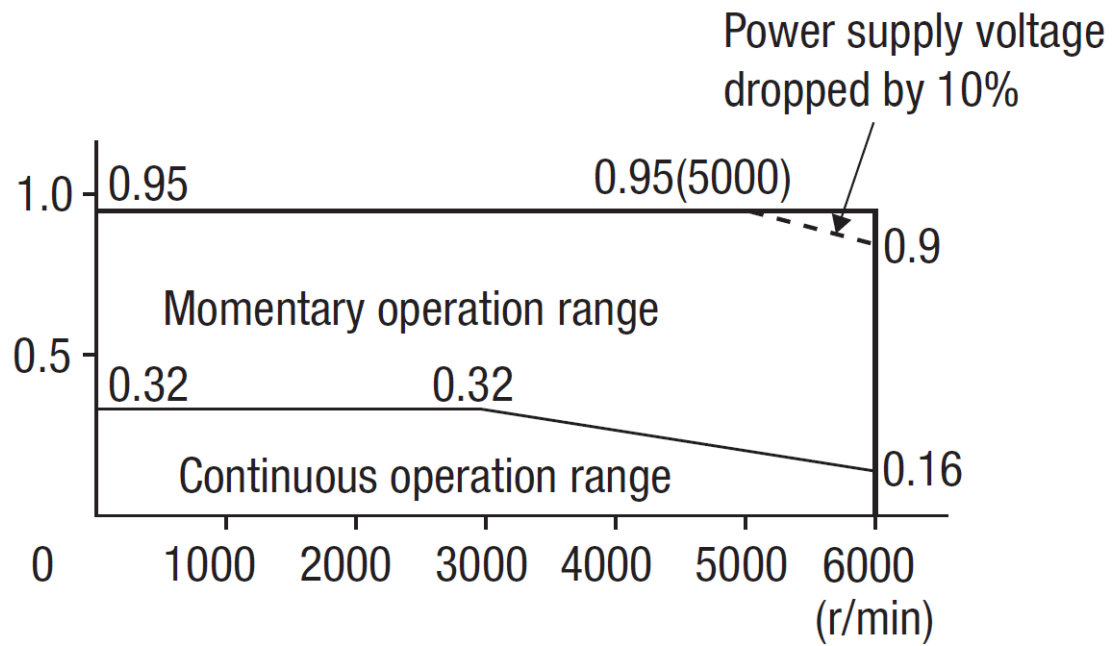
Kronoksen uusi Omronilla alustavasti toteutettava ohjausjärjestelmä on esiteltynä taulukossa 8 sivulla 26. Lopullinen järjestelmä tehdään Omronilta saadun tarjouksen perusteella. Kronoksen osien vaihdossa noudatettiin samoja kriteereitä, kuin Selenenkin. Järjestelmä toteutettiin myös Sysmac-sarjalla, joten servomoottorien ohjaus ja tiedonsiirto tapahtuvat EtherCAT:ssä ja EtherNet/IP:ssä.

Kronoksen operointipaneeli on PC:ssä kiinni, joten sitä ei muutettu. Lisäksi Kronoksessa on ABB:n valmistama puhdastilarobotti, jonka ohjaimena toimi ABB IRC5 Compact. Robotti yhdistetään järjestelmään CJ-sarjan lisäkortilla DeviceNet'in kautta, jolloin Beckhoff'in DeviceNet-moduulista ja I/O:sta päästään eroon. Kronoksen molemmat Cognexin valmistamat konenäkökamerat vaihtuvat Ethernetin puolelle nykyisen sarjaliitännän sijasta. Selenen tapaan myös Kronoksessa vaihdetaan Pilz'in turvajärjestelmä Omronin valmistamaan modulaariseen NX-sarjaan.

Servomoottorit soveltuvat sellaisenaan vaihdettavaksi Omronille, koska niiden nimellisyörimisnopeudet ovat 3000 rpm. Maxonin harjallinen tasavirtamoottori jätetään järjestelmään ja sen ohjaus muutetaan Elektromen Oy:n EM-175DC-tasavirtamoottorin ohjaimeen. Sen sijaan Maxonin valmistaman EC-max 32-sarjan harjattoman tasavirtamoottorin nimellisyörimisnopeus on yli 8000 rpm. Tämä on ongelmallista, sillä Omronin valmistamien servomoottoreiden maksiminopeuskin on vain 6000 rpm.

Ongelmaa selvitettiin Afore Oy:n insinöörien kanssa, minkä tuloksena päädyttiin, että kyseinen kohde ei tarvitse moottorilta näin suurta nopeutta. Kyseistä moottoria ohjataan joystick-ohjauksella ja sen avulla tehdään tarkkaa käsivaraista paikoitusta, joten sen pyörimisnopeuden ei tarvitse olla suuri. Maxonin moottori on varustettu 14:1 vaihdelaatikolla ja sen aikaansaama nimellismomentti vaihdelaatikon päästä on 0,9 Nm. Vanhan moottorikonaisuuden kokonaispituus vaihteen, jarrun ja enkooderin kanssa on 150 mm. Koska moottori on ahtaassa tilassa, sen tilalle vaihdetaan Omronin valmistama pienikokoinen Accurax G5-sarjan R88M-K10030H-BS2-servomoottori. Kohteeseen ei ainakaan aluksi valita mitään vaihdetta, sillä kyseistä moottoria voidaan kuormittaa kuvion 4 sivulla 26 mukaisesti. Kuvioista käy ilmi, että hetkellisessä käytössä moottoria voidaan rasittaa 0,95 Nm väännöllä. (Afore Oy, Omron Electronics Oy)

R88M-K10030H/T (100 W)



Kuvio 4 Omron Accurax G5 R88M-K10030H/T-servomoottorin ominaisvääntökäyrä (Sysmac Catalogue)

Taulukko 8 Kronoksen Omronin ohjausjärjestelmä

Osa	Mallitarakenne	Määrä	Korvattava tuote
PLC	NJ301-1200	1	JC940MC-24-E3+2x JX6-SB11
PLC virtalähde	NJ-PD3001	1	
Ethercat slave	NX-ECC202	4	JX3-BN-CAN
Digitaalitulo 16ch	NX-ID5442	4	JX3-DI16
Digitaalitulo 8ch	NX-ID4442	1	JX3-DI16
Digitaalitulo 4ch	NX-ID3443	1	JX3-DI16
Digitaaliliähtö 16ch	NX-OD5256	5	JX3-DO16
Digitaaliliähtö 8ch	NX-OD4256	1	JX3-DO16
Digitaaliliähtö 4ch	NX-OD3256	1	JX3-DO16
Analogiatulo 2ch (-10..10V)	NX-AD2603	1	JX3-AI4
Analogiatulo 2ch (4..20mA)	NX-AD2203	1	JX3-AI4
Analogialähtö 4ch (-10..10V)	NX-DA3603	1	JX3-AO4
Lämpötilan mittaus (termopari)	NX-TS2102	1	JX3-THI2-TC
DeviceNet robottia varten	CJ1W-DRM21	1	BK5250 + KL1408 + KL2408 + KL9010
Turvaohjain	NX-SL3300	1	PNOZ m B0
Turva digitaalitulo 8ch	NX-SID800	6	PNOZ m 8DI4DO + PNOZ m 16DI
Turva digitaaliliähtö 4ch	NX-SOD400	5	PNOZ m 8DI4DO
Jarrullinen servomoottori	R88M-K40030H-BS2	2	JHN2-0095-008-6RVBS
Servomoottori	R88M-K10030H-S2	1	JHN2-0028-005-6-RV
Jarrullinen servomoottori	R88M-K10030H-BS2	1	EC-max 32: 272765
Dc moottori	A-max 32	1	ei vaihdeta
Dc moottorin ohjain	EM-175DC	1	JM-105
Servovahvistin	R88D-KN01H-ECT	2	JM-105
Servovahvistin	R88D-KN04H-ECT	2	JM-108
Servomoottorin kaapelit (Pow.+enc.)	1,5m + 3m + 6m hinnat	15kpl	
2D lukkia	Dataman 60	1	Dataman 50
Käsilukija	Dataman 8100	1	Dataman 8050

5 OHJAUSJÄRJESTELMÄN VAIHDOSTA SAATAVA TALOUDELLINEN HYÖTY

5.1 Jetterin ohjausjärjestelmällä toteutuneet hinnat

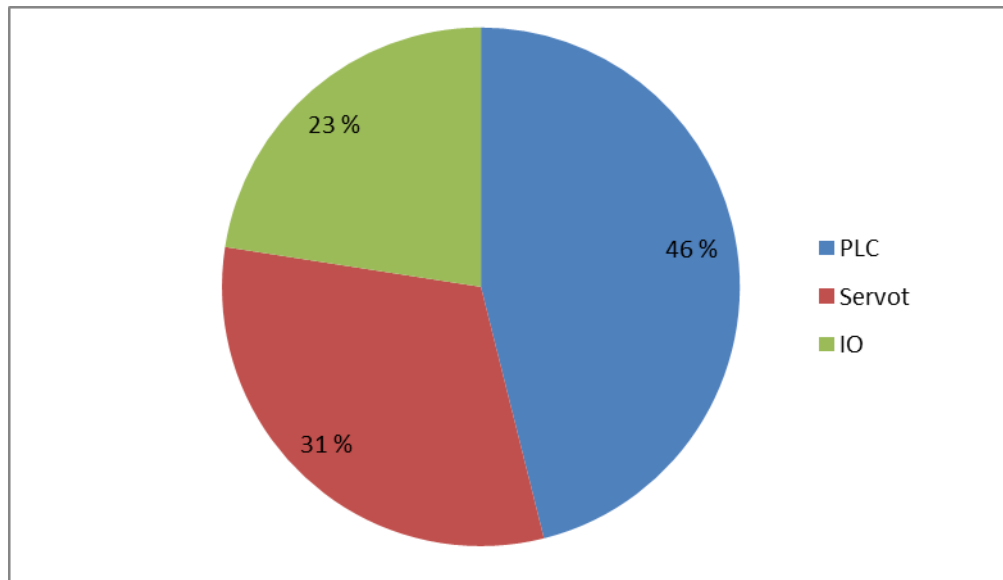
Yleisesti Jetterin digitaalitulon hinta on xx €/kpl. Digitaalilähdön hinta on xx €/kpl. Analogiatulon hinta on xx €/kpl ja analogialähdön hinta on xx €/kpl. Jetterin väyläpuute näkyy myös robottia varten Bechoffilta hankittuna DeviceNet-moduulina, jonka kokonaishinta on xx €.

Kronoksen ohjausjärjestelmän kokonaiskustannukset vaihdoksen kannalta muuttuvien komponenttien osalta on esiteltyinä taulukossa 9. Jetterin ohjausjärjestelmällä toteutettaessa arvonlisäverottomat kokonaiskustannukset ovat xx €.

Taulukko 9 Kronoksen Jetteriltä tilattujen osien kustannukset (Afore Oy)

Osa	Tarkennus	Määrä (kpl)	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
PLC	JC940MC-24-E3+2x JX6-SBI1	1		
PLC	JC-360-4	2		
Servomoottori	JHN2-0095-008-6RVBS-A	1		
Servomoottori	JHN2-0095-008-6RVB	1		
Servomoottori	JHN2-0028-005-6-RV	1		
Harjaton dc moottori	EC-max 32: 272765	1		
Harjallinen dc moottori	A-max 32	1		
48VDC Servojen virtalähde	Phoenix Contact	1		
Servovahvistin	JM-108	3		
Servovahvistin	JM-105	2		
Digitaalilähtö	JX3-DO16	4		
Digitaalitulo	JX3-DI16	3		
Digitaali I/O	JX3-DIO16	4		
I/O	JX3-MIX2	2		
Lämpötilan mittaus	JX3-THI2-TC	1		
Analogiatulo	JX3-AI4	2		
Analogialähtö	JX3-AO4	1		
Jetter system bus	JX3-BN-CAN	4		
Turvaohjain	PNOZ-m-B0	1		
Turvaohjaimen kommunikointi	PNOZ-m-ES-ETH	1		
Turva I/O	PNOZ-m-8DI4DO	5		
Turva DI	PNOZ-m-16DI	1		
Robotille DeviceNet	BK5250	1		
Beckhoff hajautus I/O	KL9010	1		
Robotin I/O	KL1408	1		
Robotin I/O	KL2408	1		
			Yhteensä	xx

Kuviossa 5 on piirakkamuodossa esiteltyä Jetterin ohjausjärjestelmän kulurakennetta. Suurimman osan (46 %) vie PLC:t. Rahallisesti tämä tarkoittaa xx €. Kuviosta nähdään, kuinka suuri rahallinen vaikutus heikolla väylän tuennalla suoranaisesti on. Mikäli molemmat JC-360-4 keskusyksiköt jätettäisiin pois, laskisi PLC:n osuus kokonaiskustannuksissa 36 %:iin. Pelkästään toisten PLC:den pois jättäminen toisi xx € välittömän säästön.



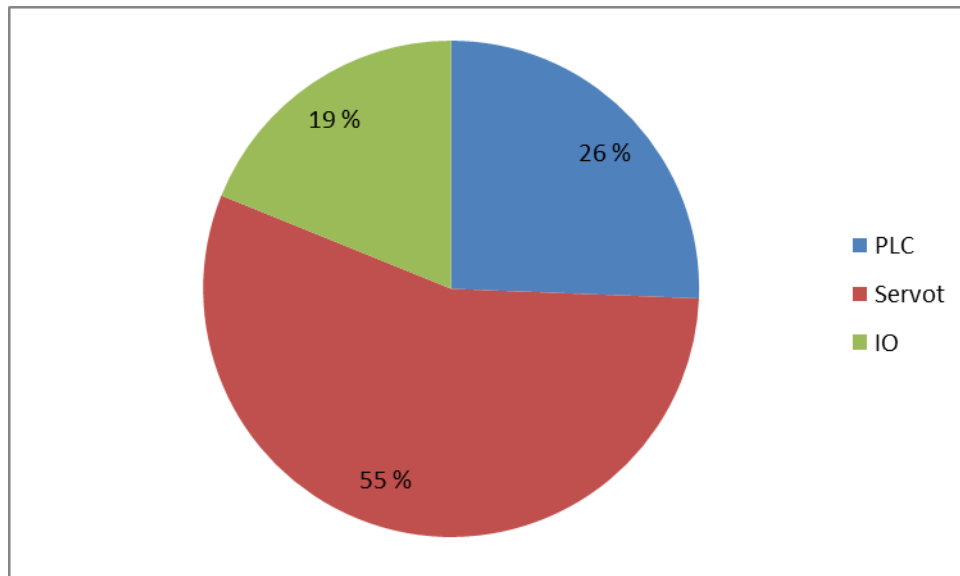
Kuvio 5 Kronoksen ohjausjärjestelmän kustannusjakauma Jetterin osalta

Selenen ohjausjärjestelmän kokonaiskustannukset vaihdoksen kannalta muuttuvien komponenttien osalta on esiteltyä taulukossa 10 sivulla 30. Jetterin ohjausjärjestelmällä toteutettaessa arvonlisäverottomat kokonaiskustannukset ovat xx €.

Taulukko 10 Selenen Jetteriltä tilattujen osien kustannukset

Osa	Tarkennus	Määrä (kpl)	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
CPU	JC-940MC-24-E03+PCI+2xJX6-SB-I	1		
CPU	JC-360-4	1		
Servomoottori	MH2-0020-30-48 i=20	1		
Servomoottori	JH2-0053-06-4RV	5		
Servomoottori	JH2-0053-06-6RVB	2		
Servomoottori	JHN2-0075-006-6RV	4		
Servomoottori	MT1-0020-40-48 i=200	1		
Servomoottori	JHN2-0095-008-6RVB	2		
Dc-moottori	E192.24.25	1		
48VDC Servojen virtalähde	85935	1		
Sevovahvistin	JM-108	8		
Sevovahvistin	JM-105	8		
Absoluuttianturi	AVS58N	1		
I/O virtalähde	JX3-PS1	1		
Digitaalitulo	JX3-DI16	9		
Digitaalilähtö	JX3-DO16	9		
Analogialähtö	JX3-AO4	1		
Analogiatulo	JX3-AI4	1		
I/O	JX3-MIX2	4		
Laskuri tulo	JX3-CNT	1		
Jetter system bus	JX3-BN-CAN	3		
Operointipaneeli	eTOP513-White	1		
Näytön ohjelmointi	Jmobile ohjelmointilisenssi	1		
Paineilma jakotukki	VV5QC11-10C4FD3	2		
Jakotukin ohjauskaapeli	D-Sub kaapeli	2		
Taajuusmuuttaja	ATV12H055M2	2		
PID säädin	E5CN-R2MT-500 AC100-240V	2		
Turvaohjain	PNOZ-m-B0	1		
Turvaohjaimen kommunikointi	PNOZ-m-ES-ETH	1		
Turva I/O	PNOZ-m-8DI4DO	4		
Turva DI	PNOZ-m-16DI	1		
			Yhteensä	xx

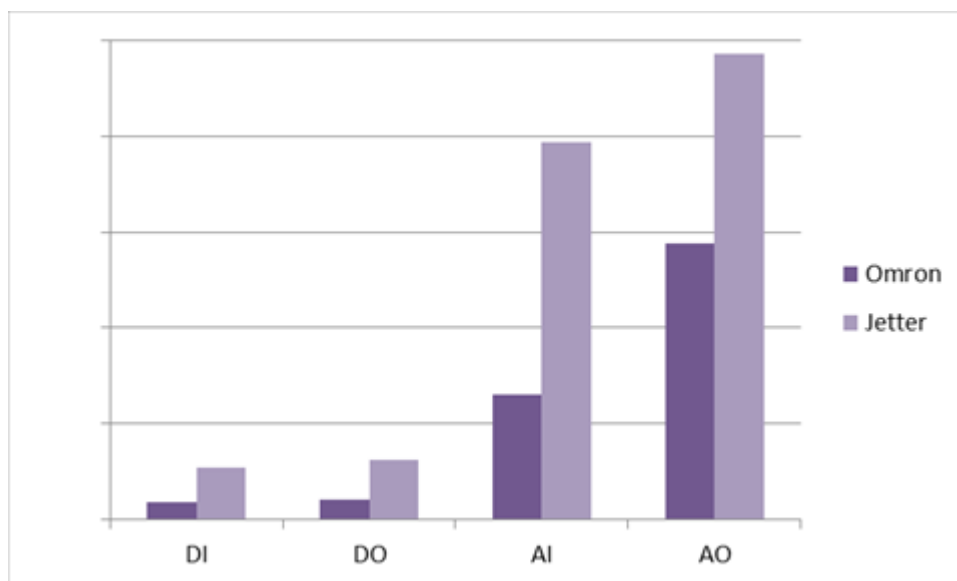
Kuviossa 6 sivulla 31 on esiteltyä Jetterin ohjausjärjestelmän kulurakenne Selenessä. Selenessä on yhteensä 17 ohjattavaa akselia, mikä näkyy servomoottoreiden suurena osuutena kulurakenteessa. Servot vievät yli puolet koko ohjausjärjestelmälle kohdistuneesta rahasta, yhteensä lähes xx euroa. Kronokseen verrattuna huono väylätuenta ei ole yhtä selkeä, vaikkakin Selenessä on yksi JC-360-4 pelkästään väylämuuntimena. Kyseinen PLC maksaa xx euroa. Vaikka se ei prosentuaalisesti ole paljon, se on kuitenkin suuri menoerä pelkästä väylän puuttumisesta, mikä tuo paremmilla väylätuilla varustetuille kilpailijoille etumatkaa.



Kuvio 6 Selenen ohjausjärjestelmän kustannusjakauma Jetterin osalta

5.2 Ohjausjärjestelmän hinta Omronilla toteutettaessa

Yleisesti ottaen Omronin digitaalitulojen hinta on xx €/kpl ja digitaalilähtöjen hinta xx €/kpl. Analogia tulojen hinta on xx €/kpl ja analogialähtöjen hinta xx €/kpl. Kaikki taulukoissa ja kuvioissa esitellyt hinnat perustuvat liitteissä oleviin tarjouksiin. Kuviossa 7 on esitetty pylväsdiagrammin avulla I/O-puolen hintaeroja Jetterin ja Omronin kesken. Jetter on keskiarvoltaan 2,7 kertaa kalliimpi kuin Omron I/O-puolella. Digitaalitulojen ja -lähtöjen 16-kanavaiset mallit ovat kustannustehokkaampia. Tästä syystä käyttöön otetaan pelkästään 16-kanavaisia malleja.

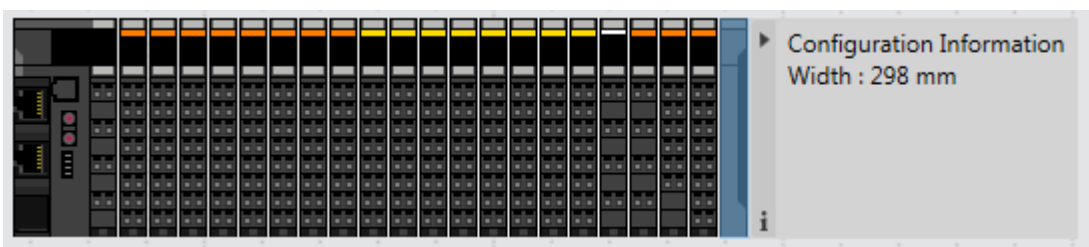


Kuvio 7 I/O hintavertailu

Koska kaikki Omronin valmistamat servomootorit toimivat 230 VAC-jännitteellä, säätöä tulee lisäksi Jetter Ag:n servomootoreiden tarvitsemien virtalähteiden pois jättämisestä. Pelkästään servoille tarkoitetut virtalähteet maksavat Selenessä xx euroa ja Kronoksessa xx euroa.

Afore Oy:n projekti-insinöörin kanssa käytyjen keskustelujen perusteella Jetteriltä tilattujen servomoottorikaapeleiden kanssa on tapahtunut paljon inhimillisiä virheitä, jotka joudutaan itse korjaamaan. Työaikaa kuluttaviin liittimien korjaustöihin ja valmistustöihin kuluva aika vähenee, koska kaapelit voidaan tilata suoraan valmistajalta, joka takaa kaapeleille 100 %:n toimintavarmuuden. Tästä huolimatta kaapelit eivät ole sen kalliimpia, vaan keskiarvoltaan suunnilleen samanhintaisia. Lyhyemmät ja ilman jarrua oleville moottoreille suunnatut kaapelit ovat tosin jopa halvemmat. (Afore Oy)

Paremmän väylätuen ansiosta sähkökaappeihin saadaan lisää tilaa, koska sähköjohtojen määrä pienenee hieman, mikä helpottaa ja osaltaan hieman nopeuttaa asennustöitä. Vertailun vuoksi kuvassa 3 on vielä havainnollistettu tilansäästöä Selenen CC1:ssä sijaitsevien I/O-moduulien avulla. Omronilla kaikki I/O-pisteet mahtuvat 300 mm:iin, vaikka siihen on lisätty vielä tulo 2x PT100 anturille PID-säädön mahdollistamiseksi. Vertailun vuoksi Jetter Ag:n pelkät tarvittavat digitaalitulot ja -menot vievät yhteensä 450 mm. Tilansäästö helpottaa sähkösuunnittelua, sillä samankokoiset kaapit voidaan tehdä väljemmiksi.



Kuva 3 CC1:een sijoitettava EtherCAT slave I/O-ryhmän kokonaispituus (Sysmac Studio)

5.2.1 Kronoksen ohjausjärjestelmän hinta Omronin järjestelmään siirryttäessä

Kronoksen konenäköjärjestelmän muuttaminen Ethernetiä tukeviin malleihin on järkevää, sillä näin saadaan aikaan xx euron säästö. Taulukossa 11 sivulla 33 on eriteltyä vaihdoksesta saatava taloudellinen hyöty. RS-232-portit ovat kalliita, minkä vuoksi niiden käyttöä kannattaa välttää.

Taulukko 11 Konenäköjärjestelmän siirtäminen Ethernitiin

Osa	Mallitarkenne	Määrä	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
2D lukija	Dataman 50 ->Dataman 60 hintaero	1		
Käsilukija	Dataman 8050 ethernet päivityksen hinta	1		
			Yhteensä	
Sarjaliikenneportti	CJ1W-SCU22	1		
			Erotus	xx

Turvaohjainjärjestelmän vaihtaminen Omronin valmistamaan ei ollut aluksi taloudellisesti järkevää, sillä Pilz:n valmistamat komponentit ovat hinnoiltaan edullisempia. Taulukoissa 12 ja 13 on esiteltyä molempien valmistajien turvajärjestelmien kokonaishinta ja sen erittely. Alun perin järjestelmien hinnan ero oli xx euroa. Omron teki kuitenkin uuden tarjouksen, joka on esiteltyä taulukossa 13 kohdassa uusi hinta. Uuden tarjouksen jälkeen hinnan ero väheni tuntuvasti ja järjestelmän yhdenmukaistaminen myös turvaohjainjärjestelmän osalta on järkevää.

Taulukko 12 Kronoksen nykyinen turvaohjainjärjestelmä

Osa	Mallitarkenne	Määrä	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
Turvaohjain	PNOZ-m-B0	1		
Turvaohjaimen kommunikointi	PNOZ-m-ES-ETH	1		
Turva I/O	PNOZ-m-8DI4DO	5		
Turva DI	PNOZ-m-16DI	1		
			Yhteensä	xx

Taulukko 13 Kronoksen Omronin tarjoama turvaohjainjärjestelmä

Osa	Mallitarkenne	Määrä	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)	Uusi hinta (€)	Kokonaishinta (€)
Turvaohjain	NX-SL3300	1				
Turva digitaalitulo 8ch	NX-SID800	6				
Turva digitaalilähtö 4ch	NX-SOD400	5				
			Yhteensä	xx		xx

Kuviossa 8 sivulla 34 tarkastellaan Omronin osaryhmien hintoja Jetterin vastaaviin hintoihin. Omron on kaikin puolin edullisempi vaihtoehto. Tarkastelu ei ota huomioon Jetterin tarvitsemien erillisten servoja varten hankittavien virtalähteiden poistumista. Pylväsdiagrammista näkee hyvin, kuinka suuren säästöpotentiaalini juuri väylätuen puute mahdollistaa. Kronoksen PLC-kustannukset laskevat peräti 81 prosenttia Omronin ohjausjärjestelmään siirryttäessä.



Kuvio 8 Kronoksen osaryhmien hintavertailu Omronin ja Jetterin kesken

Kronoksen lopullinen ohjausjärjestelmä muodostui hintatietojen vahvistuttua Omronilta saadun tarjouksen perusteella. Tarjous Omronilta on liitteessä 10. Kronoksen järjestelmä on esiteltyä kokonaisuudessaan taulukossa 14 sivulla 35. Järjestelmän kokonaishinnaksi muodostui yhteensä xx euroa. Lopullinen järjestelmä on koottu yhdistelemällä edullisimpia vaihtoehtoja. Järjestelmään on siis valikoitunut joko käytössä olleita komponentteja tai uusia komponentteja hinnan perusteella. Alustavasta järjestelmästä vaihdettiin nelikanavainen digitaalitulo kahdeksankanavaiseksi, sillä nelikanavainen malli oli nopeam- malla virkistystaajuudella varustettu.

Taulukko 14 Kronoksen kustannustehokkain ohjausjärjestelmä Omronilla toteutettuna (lopullinen versio)

Osa	Mallitarkenne	Määrä	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
PLC	NJ301-1200	1		
PLC virtalähde	NJ-PD3001	1		
Ethercat slave	NX-ECC202	4		
Digitaalitulo 16ch	NX-ID5442	4		
Digitaalitulo 8ch	NX-ID4442	2		
Digitaalilähtö 16ch	NX-OD5256	5		
Digitaalilähtö 8ch	NX-OD4256	1		
Digitaalilähtö 4ch	NX-OD3256	1		
Analogiatulo 2ch (-10..10V)	NX-AD2603	1		
Analogiatulo 2ch (4..20mA)	NX-AD2203	1		
Analogialähtö 4ch (-10..10V)	NX-DA3603	1		
Lämpötilan mittaus (termopari)	NX-TS2102	1		
DeviceNet robottia varten	CJ1W-DRM21	1		
Turvaohjain	NX-SL3300	1		
Turva digitaalitulo 8ch	NX-SID800	6		
Turva digitaalilähtö 4ch	NX-SOD400	5		
Jarrullinen servomoottori	R88M-K40030H-BS2	2		
Servomoottori	R88M-K10030H-S2	1		
Jarrullinen servomoottori	R88M-K10030H-BS2	1		
Dc moottori	A-max 32	1		
Dc moottorin ohjain	EM-175DC	1		
Servovahvistin	R88D-KN01H-ECT	2		
Servovahvistin	R88D-KN04H-ECT	2		
2D lukija	Dataman 50 ->Dataman 60 hintaero	1		
Käsilukija	Dataman 8050 ethernet päivitys	1		
			Yhteensä	xx

Ohjausjärjestelmän vaihdoksesta saatavat työsäästöt muodostuvat virtalähteiden puuttumisesta ja johtokourujen vähäisemmästä johtomäärästä. Kokonaisuudessaan työsäästöt jäävät melko pieniksi. Taulukossa 15 on eriteltyä työajan säästö. Työn tuntikustannuksina käytettiin Afore Oy:n valmistuspäällikön arvioimaa xx €/h.

Taulukko 15 työajan säästö

Työ	Työajan säästö (h)	Työn hinta (€)
Servomoottoreiden virtalähteiden asentaminen	2	
Johtokourujen vähäisempi johtomäärä	2	
Yhteensä		xx

Kronokseen kohdistuva kokonaissäästöpotentiaali on esiteltyä taulukossa 16 sivulla 36. Kyseisessä taulukossa on eriteltyä komponenteista saatava säästö sekä työstä arvioitu mahdollinen säästö. Kaiken kaikkiaan säästöä on mahdollista saada aikaan xx euroa.

Taulukko 16 Kronoksen kokonaissästöpotentiaali

Kokonaisuus	Hinta (€)
Järjestelmän hinta Jetterillä toteutettaessa	
Järjestelmän hinta Omronilla toteutettaessa	
Komponenttisäästöt	xx
Työsäästöt	
Kokonaissästö	xx

5.2.2 Selenen ohjausjärjestelmän hinta Omronin järjestelmään siirryttäessä

Omronilta saadun tarjouksen perusteella tarkastetaan lopullinen kokoonpano. Osa komponenteista on edullisempi jättää ennalleen, eikä siirtää väylään. Tarjous Omronilta on liitteessä 9. Esimerkiksi taajuusmuuttajan vaihto väylälliseen versioon Omronilla ei ole kustannustehokkain ratkaisu.

Taulukossa 17 on verrattu nykyisen Schneiderin väylättömän valmistaman taajuusmuuttajan kokonaishintaa EtherCAT:lla varustettuun Omronin taajuusmuuttajaan. Mikäli taajuusmuuttajalle olisi jouduttu ostaman oma erillinen analogialähtö sen säätöä varten, olisi väylällinen malli ollut huomattavasti edullisempi. Selenessä tarvitaan joka tapauksessa yhtä analogialähtöä, jota varten tarvitaan 2-kanavainen (-10..10 V) analogialähtö. Kyseisen analogialähdön kasvattaminen nelikanavaiseksi maksaa xx euroa enemmän. Tällöin järjestelmien hintaero on xx euroa Schneiderin eduksi.

Taulukko 17 taajuusmuuttajan vaihdoksen kannattavuusvertailu

Osa	Mallitarkenne	Määrä (kpl)	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
Taajuusmuuttaja Omron ethercat	3G3MX2-AB004-E + 3G3AX-MX2-ECT	2		
Taajuusmuuttaja Schneider	ATV12H055M2	2		
Taajuusmuuttajaa varten tarvittavat I/O	NX-DA2603 -> NX-DA3603 muutoksen hintaero	1		
	Schneiderilla toteutettuna			
	Omronilla toteutettaessa			
			Erotus	xx

Alustavan tarjouksen jälkeen Omron päätti tarkastaa tarjouskilpailun kannalta hävittyjen komponenttien hinnat uudestaan. Lopputuloksena hintaero väheni taulukon 18 sivulla 37 mukaisesti. Tämän perusteella olisi hyvä vaihtoehto päivittää myös taajuusmuuttajat väylään, koska hinnanero on pieni. Tällöin säädöt on helppo tehdä ja asetuksia muuttaa, mikäli tarvetta ilmenee.

Taulukko 18 taajuusmuuttajan uusi tarjous Omronilta

Osa	Mallitarkenne	Määrä (kpl)	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
Taajuusmuuttaja Omron ethercat	3G3MX2-AB004-E + 3G3AX-MX2-ECT	2		
Taajuusmuuttaja Schneider	ATV12H055M2	2		
Taajuusmuuttajaa varten tarvittavat I/O	NX-DA2603 -> NX-DA3603 muutoksen hintaero	1		
	Schneiderilla toteutettuna			
	Omronilla toteutettaessa			
Erotus				xx

Turvaohjainjärjestelmän vaihtaminen Omronin NX-sarjan ohjaimeen ja I/O-pisteihin ei aluksi ollut kannattavaa, sillä niiden hinnan ero oli xx euroa Pilz:n eduksi. Omron kuitenkin tarkasti tarjousta uudestaan ja tuotteille saatiin uudet paremmat hinnat. Järjestelmien hinnat on esiteltyä taulukoissa 19 ja 20. Taulukossa 18 on lisäksi esiteltyä Omronin tarjoamat uudet hinnat. Uuden tarjouksen perusteella järjestelmä olisi järkevä yhdenmuikaistaa. Tällöin voidaan säästää myös ohjelmoinnissa, koska järjestelmä löytyy kokonaisuudessaan Sysmac Studiosta.

Taulukko 19 Selenen turvaohjainjärjestelmän hinta Omronilla

Osa	Mallitarkenne	Määrä (kpl)	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)	Uusi hinta (€)	Kokonaishinta (€)
Turvaohjain	NX-SL3300	1				
Turva digitaalitulo 8ch	NX-SID800	6				
Turva digitaalilähtö 4ch	NX-SOD400	4				
Yhteensä				xx		xx

Taulukko 20 Selenen turvaohjainjärjestelmän hinta Pilz:lla

Osa	Mallitarkenne	Määrä (kpl)	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
Turvaohjain	PNOZ-m-B0	1		
Turvaohjaimen kommunikointi	PNOZ-m-ES-ETH	1		
Turva I/O	PNOZ-m-8DI4DO	4		
Turva DI	PNOZ-m-16DI	1		
Yhteensä				xx

Taulukossa 21 on eriteltyä kuinka paljon Dataman konenäkökameran ja Vaisalan HMT330 kosteus- ja lämpötilalähettimen muutos Ethernet malleihin maksaa. Muutoksen kokonaiskustannuksiksi muodostuu xx euroa. Muutos on kannattava, sillä sarjaliikenneporttiin liitettäessä tarvittaisiin kaksi Omronin CJ-sarjan RS-232-kommunikointimoduulia, joiden yhteishinta on xx euroa. Ethernetiin siirtyessä säästöä on mahdollista saada taulukon 21 perusteella xx euroa.

Taulukko 21 Datamanin ja Vaisalan HMT330 vaihto Ethernetin

Mallitarkenne	Määrä (kpl)	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
Dataman 50 ->Dataman 60 hintaero	2		
7T2D112BCAX140A0EAAEAA1	2		
Yhteensä			xx
CJ1W-SCU22	2		
Erotus			xx

Taulukossa 22 on esitetty PID-säätimen siirron kannattavuus. Säätimen siirtäminen suoraan ohjausjärjestelmään on kannattavaa, sillä tällä aikaansaadaan komponenttien osalta xx euron säästö. Työsäästöä kyseiselle toiminnalle ei ole laskettu, sillä sen arvioidaan menevän tasan muutokseen vaadittavan suunnittelun kanssa.

Taulukko 22 PID-säätimien vaihto ohjausjärjestelmään

Osa	Mallitarkenne	Määrä (kpl)	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
Lämpötilan mittaus (2x Pt100)	NX-TS2201	1		
PID säädin	E5CN-R2MT-500 AC100-240V	2		
			Erotus	xx

Taulukossa 23 on tarkasteltu SMC:n päivitystä EtherCAT-väylään. Tarkastelun tuloksena jakotukki tulee siirtää väylään, sillä näin aikaansaadaan komponenttien osalta xx euron kustannussäästö. Väylämallin ansiosta toinen venttiilipaketti voidaan poistaa ja sen venttiilit siirtää yhteen jakotukkiin. Lisäksi tästä saadaan aikaan noin kolmen tunnin työajan säästö, sillä moninapa kaapelien kytkentä on paljon aikaa vievämpää kuin väyläjohton. Työsäästöt on eriteltyinä taulukossa 25 sivulla 40.

Taulukko 23 SMC:n venttiilipaketin siirto EtherCAT:iin

Osa	Mallitarkenne	Määrä (kpl)	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
SMC:n jakotukki EtherCAT väylään	EX260-SEC1	1		
Ethernet kaapeli	CAT6 SF/UTP	1		
			Yhteensä	
Paineilma jakotukki	VV5QC11-10C4FD3	2		
Jakotukin ohjauskaapeli	D-Sub kaapeli	2		
			Yhteensä	
			Saatava säästö	xx

Kuviossa 9 sivulla 39 tarkastellaan Omronin osakokonaisuuksien hintoja Jetterin vastaaviin hintoihin. Omron on edullisempi vaihtoehto PLC- ja I/O-osuudella, mutta servomoottoreissa hinnat ovat samaa luokkaa. Tarkastelussa tulee kuitenkin huomioida, että Omronilta valitut uudet moottorit ovat väännöltään suurempia tuotekehityksen seurauksena. Lisäksi tarkastelu ei ota huomioon Jetterin tarvitsemien erillisten servoja varten hankittavien virtalähteiden poistumista eikä absoluuttianturin integroitumista suoraan servomoottoriin.



Kuvio 9 Selenen osaryhmien hintavertailu Omronin ja Jetterin kesken

Taulukossa 24 on esiteltyä lopullinen järjestelmä hintoineen. Järjestelmän kokonaishinnaksi muodostui yhteensä xx euroa. Tämä järjestelmä on koottu yhdistelemällä edullisimpia vaihtoehtoja. Järjestelmään on siis valikoitunut joko käytössä olleita komponentteja tai uusia komponentteja hinnan perusteella.

Taulukko 24 Selenen edullisin ohjausjärjestelmä Omronilla toteutettuna (lopullinen versio)

Osa	Mallitarkenne	Määrä (kpl)	Hinta á (€)	Kokonaishinta (€)
PLC	NJ501-1420	1		
PLC virtalähde	NJ-PA3001	1		
Operointipaneeli	NA5-15W101S	1		
Ethercat slave	NX-ECC202	2		
Etä I/O virtalähde	NX-PD1000	1		
Digitaalitulo 16ch	NX-ID5442	9		
Digitaalilähtö 16ch	NX-OD5256	9		
Analogiatulo 4ch (4..20mA)	NX-AD2203	1		
Analogialähtö 2ch (-10..10V)	NX-DA2603	1		
Lämpötilan mittaus (2x Pt100)	NX-TS2201	1		
Jarrullinen servomoottori	R88M-K40030HBS2	2		
Servomoottori	R88M-K40030HS2	8		
Jarrullinen servomoottori	R88M-K20030HBS2	3		
Servomoottori vaihteella ja absoluuttianturilla	TPK+010S-MF3-200-0B1 / R88M-K20030TS2	1		
Servomoottori vaihteella	LP 050S-MF2-20-1B1 / R88M-K10030HS2	1		
Servovahvistin	R88D-KN01HECT	1		
Servovahvistin	R88D-KN02HECT	4		
Servovahvistin	R88D-KN04HECT	10		
Micro Motors DC moottori	E192.24.25	1		
DC moottorin ohjaus	EM-175DC	1		
Taajuusmuuttaja Omron ethercat	3G3MX2-AB004-E + 3G3AX-MX2-ECT	2		
Turvaohjain	NX-SL3300	1		
Turva digitaalitulo 8ch	NX-SID800	6		
Turva digitaalilähtö 4ch	NX-SOD400	4		
2D lukija ethernet	Dataman 50 ->Dataman 60 hintaero	2		
Vaisalan ethernetoptio	7T2D112BCAX140A0EAAEA1	2		
Paineilma jakotukki	EX260-SEC1	1		
Yhteensä				xx

Työsäästöt muodostuvat virtalähteiden puuttumisesta, johtokourujen vähäisemmästä johtomäärästä, PID-säätimien asentamisen puuttumisesta, absoluuttianturin asentamisen ja SMC:n paineilmaventtiilien nopeammalla asennustyöllä väylään ja siirtyminen yhteen venttiilipakkaan nykyisen kahden sijasta. Taulukossa 25 on eriteltynä työajan säästö. Työn tuntikustannuksina käytettiin Afore Oy:n valmistuspäällikön arvioimaa xx €/h.

Taulukko 25 työajan säästö

Työ	Työajan säästö (h)	Työn hinta (€)
Servomootoreiden virtalähteiden asentaminen	2	
PID -säätimien asentamisen poistuminen	2	
Johtokourujen vähäisempi johtomäärä	2	
Absoluuttianturin siirtyminen servoon	4	
SMC:n paineilmaventtiilien asennustyö	3	
	Yhteensä	xx

Seleneen kohdistuva kokonaissäästöpotentiaali on esiteltynä taulukossa 26. Kyseisessä taulukossa on eriteltynä komponenteista saatava säästö sekä työstä arvioitu mahdollinen säästö. Kaiken kaikkiaan säästöä on mahdollista saada aikaan xx euroa.

Taulukko 26 Selenen kokonaissäästöpotentiaali

Kokonaisuus	Hinta (€)
Järjestelmän hinta Jetterillä toteutettaessa	
Järjestelmän hinta Omronilla toteutettaessa	
Komponenttisäästöt	xx
Työsäästöt	
Kokonaissäästö	xx

6 VAIHTOEHTOINEN HIENOMEKAANINEN KONEPAJA

6.1 Nykytilanne

Yrityksen vaativien osien valmistus on tällä hetkellä vain yhden kokoluokassaan pienen konepajayrityksen vastuulla. Yritys on historiansa aikana kokeillut eri kokoluokissa toimivia konepajoja. Vaativimpia osia on koneistettu ainakin viidellä eri toimijalla. Näistä vain yksi on pystynyt toimittamaan halutun laisia kappaleita. Kyseisestä alihankkijasta on muodostunut yritykselle kriittinen, sillä sen tuottamia kappaleita ei tällä hetkellä voida valmistaa muualla eikä korvata toisilla kappaleilla. Tästä johtuen ongelmaksi on muodostunut pelko kyseisen toimittajan toimitusvaikeuksista esimerkiksi työntekijän sairastumisen vuoksi.

Nykytilanne kyseisen alihankkijan kanssa on hankala, sillä yrityksen vaativimmat osat lepäävät heidän harteillaan. Kumppanuuteen on syntynyt niin sanottu riippuvuus, joka tekee siitä haavoittuvan, mikäli yhteistyö jostain syystä alkaa rakoilla. Alihankkijan kannalta kyseessä on hänelle jo lähes turvattu toiminta. Tilanne saattaa johtaa vääristyneeseen kilpailuun ja heikentyneeseen laadun kehittämiseen sekä vähentää kustannustehokkuuteen pyrkimistä. Kyseisen toimittajan vaihtaminen on hidasta ja vaikeaa, sillä osat ovat arvokkaita ja osaavia valmistajia on rajallinen määrä. Konepajat eivät yksinään ole valmiita ottamaan laaturiskiä harteilleen. (Van Weele, A. J. 1994)

6.2 Tavoite

Koska tällä hetkellä kriittisten komponenttien valmistus on vain yhden toimijan varassa, toivotaan tähän parannusta toimitusvarmuuden takaamiseksi. Tavoitteena on kartoittaa ja löytää sopiva hienomekaaninen konepaja toimimaan nykyisen rinnalle. Konepaja voi sijaita missä tahansa päin maailmaa. Huonoista kokemuksista johtuen pääpaino asettuu kuitenkin Kiinan sijasta enemmän Suomeen, sillä haastavat kappaleet luovat omanlaisensa ehdot. Kappale ei voi seilata ympäri maailmaa korjattavana. Kun se on tilattu, sitä tarvitaan heti ja sen tulee olla kerralla oikeanlainen. Tästä syystä on parempi toimia lähialueilla.

Tärkeimpinä kriteereinä työstäjäljen ja kappaleen oikeellisuuden ohella ovat toimitusvarmuus sekä mahdollisuus teettää yksittäiskappaleita. Erityishuomiota kiinnitetään mallikappaleiden suorina pysymiseen sekä kappaleiden mittojen toleransseissa pysymiseen. Aforella käytettäviä materiaaleja ovat muottiteräkset, alumiini, haponkestävät teräkset sekä tekniset muovit, erityisesti PEEK. Haasteellisimmat kappaleet valmistetaan muottiteräksistä ja juuri näiden materiaalien osaava työstäminen on edellytys kappaleen valmistamiselle.

Vähimmäisvaatimuksena on kolmiakselinen tietokoneohjattu työstökeskus, sillä työstettävät kappaleet ovat enemmän jyrksintyöstöpainotteisia. Lisäarvostusta saa, mikäli tuote voidaan työstää samalla alihankkijalla alusta loppuun, eikä toimittaja käytä toisia alihankkijoita tuotteen valmistamiseen. Tämä luo toimitusvarmuutta toimitusketjuun, sillä tällöin ketju on paremmin hallittavissa. CAM-ohjelmien käyttömahdollisuus katsotaan eduksi, joskin ei välttämättömäksi, mikäli työstöradat saadaan muuten ohjelmoitua.

Työstettävien kappaleiden koko vaihtelee muutamista millimetreistä (10mm x 10mm) aina 400mm x 400mm saakka. Tarkkuudeksi riittää sadasosamillien tarkkuus. Huomiota kiinnitetään konepajojen omaan jo olemassa olevaan osaamiseen yllä mainittujen raaka-aineiden kanssa.

6.3 Alihankintaan liittyvät riskitekijät

Riskienhallinta tulee ajankohtaiseksi etenkin silloin, kun yritys toimii globaalisti, on ulkoistanut osan toiminnoistaan ja pyrkii lyhentämään tuotteen elinkaarta, pienentämään puskurivarastojaan, sekä siirtymään yhä enemmän ”on-time” -toimituksiin. (Lockamy, A. & McCormack, K. 2010.)

Alihankintaan liittyy aina riskitekijöitä, joita tulee arvioida uusia potentiaalisia toimittajia kartoittaessa. Taulukossa 27 sivulla 43 on esiteltynä kappalealihankintaan liittyviä riskitekijöitä sekä miten niitä voidaan arvioida.

Taulukko 27 Alihankinnan riskit (Iloranta, K & Pajunen-Muhonen, H. 2015, muokattu)

Hintariski	Onko hinnoittelu onnistunut
Keskeytysriski	Alihankkijan varautuminen keskeytymisiin
Laaturiski	Laadunvalvonta ja varmistaminen
Teknologiariski	Osataanko omaa teknologiaa hyödyntää
Varasto- ja aikatauluriski	Missä raaka-aineet sijaitsee

Keskeytysriski tulee kysymykseen varsinkin pienten toimittajien osalta. Tämä johtuu tuotannon rajallisuudesta. Koska konepajoja kartoittaessa yhtenä kriteerinä on alihankkijan pieni koko, tulee keskeytysriski huomioida alihankkijaa valittaessa. Alihankkijalta on hyvä selvittää kuinka sen toiminta on taattu häiriötilanteiden sattuessa sekä miten se vaikuttaa toimituksiin. Keskeytysriskin mahdollisuutta lisää, mikäli konepajalla on vain yksi kolmiakselinen työstökeskus. (Iloranta, K & Pajunen-Muhonen, H. 2015)

Hinnoitteluun liittyviä riskejä ovat ylihinnoittelu ja lisäkustannukset. Näitä riskejä on mahdollista hallita mahdollisimman laajan tarjouskyselyn perusteella, sekä vertaamalla saatuja tarjouksia nykyisen toimittajan hintaan. Tuotteen laatuun liittyvät riskit kuormittavat myös hintariskiä, sillä vaikka alihankkija kantaa vastuun tuotteestaan niin reklamointiin ja kappaleen toimitusajan venyminen korjaustöiden vuoksi kasvattavat kappaleen tuottamiseen vaadittavaa kuluerää.

Laaturiskin kannalta tärkeää on miten yrityksen laadunvalvonta on toteutettu. Koska työstettävät kappaleet ovat melko vaativia, tarvitaan konepajalta myös hyvää laadunvalvontaa. Miten usein työkalujen kulumisesta aiheutuneet vääristymät tarkastetaan? Miten usein raaka-aineiden laadun vaihteluista johtuvia vääristymiä tarkastetaan? Kantaako yritys vastuun tuotteestaan? Minkälainen mittauskalusto yrityksellä on käytössään? Joutuuko yritys käyttämään toista alihankkijaa työn tekemiseen?

Vaikka konepajat mainostavat omia referenssejään, niin tulee niihin silti suhtautua varauksella. Referenssit on yleensä ilmoitettu melko ympäröivästä, mutta niistä voi kuitenkin päätellä jotain yrityksen osaamistasosta. Kaiken kaikkiaan tuotteen lopullista laatua on vaikea ennustaa ilman aiempia kokemuksia kyseisestä yrityksestä.

Teknologiariskin kannalta tulee tarkastaa konepajan käytössä olevat työstömenetelmät. Konepajoja kartoittaessa yhtenä hakukriteerinä on, että yrityksellä on käytössään vähintään kolmiakselinen työstökeskus. Monet konepajat ilmoittavat myös työstökoneiden iät kotisivuillaan. Koneiden keski-iat kertovat paitsi yrityksen tuotannon kehittämisestä myös niiden häiriöherkkyydestä.

Varasto- ja aikatauluriskin arvioinnissa on hyvä selvittää mitä materiaaleja alihankkijalla on omassa varastossaan ja mitä hän joutuu tilaamaan. Selvittämisen arvoista on myös kuinka hyvin heidän toimitusaikansa ovat pitäneet. Luonnollisesti aikatauluriskiinkin vaikuttavat myös teknologiariskit.

6.4 Konepajojen etsintä ja arviointi

Aluksi listasin kaikki käytössä olevat ja käytössä olleet konepajat, jolla varmistettiin kaikkien vaihtoehtoisten konepajojen olevan uusia toimijoita Aforelle. Sen jälkeen aloitin alihankkijoiden kartoittamisen. Alihankkijoiden kartoittamisen lähteinä käytin omia henkilökohtaisia alaan liittyviä kontakteja sekä internetiä.

Alihankkijoiden etsinnässä on aluksi hyvä selvittää yrityksestä yleisiä tietoja. Tällaisia tietoja ovat yrityksen varsinainen toimiala, toimittajan koko, tunnettavuus sekä taloudellinen perusta. Lisäksi olisi hyvä tutkia yrityksen liiketoimintaympäristöä, kuten edellytyksiä kilpailukykyisyyteen sekä arvioida yrityksen tulevaisuuden kehityssuuntaa. (Iloranta, K & Pajunen-Muhonen, H. 2015)

Kartoittamisvaiheessa painotettiin yritykselle merkityksellisiä tekijöitä ja pyrittiin niiden avulla rajaamaan alihankintajoukkoa pienemmäksi. Rajaavista tekijöistä oli etsintävaiheessa mahdollista käyttää yrityksen sijaintiin, kokoon, tarjottaviin palveluihin ja toimialaan perustuvia tekijöitä. Afore Oy toivoi alihankkijan olevan pieni asiaan erikoistunut yritys.

Hakutyön tuloksena löysin yhteensä 51 eri konepajayritystä ympäri Suomea. Yritysten koko vaihteli kahdesta henkilöstä kahteenkymmeneen henkilöön. Potentiaalisten konepajojen arviointi- ja erotteluprosessin runkona kaikkien mukaan valikoituneiden osalta käy-

tettiin Ilorannan ja Pajunen-Muhosen kirjassaan Hankintojen johtaminen esittelemää toimintamallia hieman muokattuna. Prosessi jakautuu siis yhteensä neljään eri vaiheeseen, jotka on esitelty taulukossa 28. Ilorannan ja Pajunen-Muhosen alkuperäisessä taulukossa on viisi vaihetta, mutta karsin ehdotuksen pyytämisen pois. Se ei ollut tarpeellinen kyseisessä tapauksessa, kun tuotekehityksen tuloksena on olemassa täysin toimiva tuote, jota tulisi valmistaa. (Iloranta, K & Pajunen-Muhonen, H. 2015)

Taulukko 28 Toimittajien etsintäprosessin vaiheet ja vaiheiden keskinäiset tehtävät (Iloranta, K & Pajunen-Muhonen, H. 2015, muokattu)

Etsintäprosessin vaihe		Markkinoiden kartoitus	Mielenkiinnon varmistaminen	Tarjouspyyntö	Neuvottelu
Tavoite		Tunnistaa, missä ja minkälaisia ovat todennäköisesti parhaat toimittajat	Tarkistaa toimittajan tarjoama ja varmistaa molemminpuoleinen mielenkiinto	Arvioida toimittajan kykyjä, kapasiteettia ja suorituksen sopivuutta. Saada konkreettinen pohja vaihtoehtojen vertaamiselle.	Löytää paras vaihtoehto
T e h t ä v ä t	Tiedon hankinta	Perustiedot	Tarjoama	Kyvyt, Kapasiteetti, kilpailukyky	Vahvuudet, heikkoudet, uhkat, mahdollisuudet
	Oman yrityksen markkinointi		Ensivaikutelman luominen	Kuvan vahvistaminen	Kuvan vahvistaminen
	Ratkaisun tekeminen			Vaihtoehtojen arviointi	Ratkaisun viimeistely
	Yhteistyön edellytysten arviointi		Yhteistyön edellytysten arviointi	Yhteistyön edellytysten arviointi	Yhteistyön edellytysten arviointi
	Yhteistyösuhteen rakentaminen			Yhteistyösuhteen rakentaminen	Yhteistyösuhteen rakentaminen
	Kilpailupaineen luominen			Kilpailupaineen luominen	Kilpailupaineen luominen

Toisessa vaiheessa yrityksille lähetettiin esikarsiva sähköposti, joka on esiteltyä liitteessä 1. Koska arvelin sähköpostiin vastaamisen olevan suppeaa, ajattelin käyttää sitä hyödykseni tutkiessani alihankkijan aktiivisuutta. Tämä osoittautuikin tehokkaaksi mielenkiinnon varmistusmittariksi, sillä sähköpostia saaneista noin 37 % vastasi. Kyselyn tarkoituksena oli karsia passiiviset yritykset, sekä erotella siinä esitellyt kriteerit täyttävät yritykset toisistaan. Kyselyllä pyrittiin lisäksi varmistamaan yhteistyön edellytyksiä. Toisaalta tämä herätti myös kysymyksen ovatko kaikkein parhaimmat alihankkijat niin työllistettyjä, etteivät jouda vastaamaan kyselyihin. Tästä johtuen otinkin yhteyttä muutamiin omasta mielestä potentiaalsiin vaihtoehtoihin.

Kriteereiksi kyselyyn on tarkoituksellisesti asetettu kaikki Afore Oy:n käyttämät materiaalit sekä annettu myös mitat suurimpiin kappaleisiin. Tämä mahdollistaa laajemman kuvan saamisen alihankintakonepajan toiminnasta ja osaamistasosta.

Kolmannessa vaiheessa konepajan vastatessa heille lähetettyyn kyselyyn toimitettiin tekniset piirustukset muutamista esimerkkikappaleista, jotka ovat esiteltyinä liitteissä 2 – 5. Kyseiset kappaleet on valmistettu Böhlerin muottiteräksistä M314 Extra ja M315 Extra. Tämän vaiheen tarkoituksena oli tarkastaa konepajan kyky tuottaa halutunlaisia kappaleita. Välitettyihin esimerkkikappaleisiin perustuen pyysin tarjoukset yksittäiskappaleina valmistettuna ja kolmen kappaleen sarjana valmistettuna. Lisäksi selvitin tarkemmat toimitusajat kyseisille kappaleille.

Neljännessä vaiheessa saatuja tarjouksia täsmennettiin ja alihankkijalle esitettiin lisää kysymyksiä. Mahdollisuuksien mukaan käytiin paikanpäällä tutustumassa tuotantoon ja tarkastamassa asioiden olevan kunnossa. Konepajoista Teräshelmi Oy oli ainut, joka kutsui tutustumaan tuotantoonsa ja keskustelemaan kappaleiden tekemisestä tarkemmin. Kävin tutustumassa Teräshelmen toimintaan Afore Oy:n valmistuspäällikön kanssa. (Iloranta, K & Pajunen-Muhonen, H. 2015)

6.5 Vaihtoehtoiset konepajat

Neljänteen eli viimeiseen vaiheeseen pääsi kolme yritystä: MaseMat Oy, Teräshelmi Oy ja Työkalu Kostamo Oy. Yritykset jättivät tarjouksensa pyydyistä kappaleista. Missään yrityksessä pyydetty Böhlerin muottiteräs ei ollut varastotavaraa, vaan kukin joutuu tilaamaan kyseisen materiaalin aina tapauskohtaisesti. Jokainen näistä kolmesta yrityksestä pystyi myös työstämään kaikkia pyydettyjä materiaaleja.

Alihankintakonepajoilta saadut tarjoukset vaihtelivat yllättävän paljon. Hinnoittelu pyydettiin yhden kappaleen tilauksena ja kolmen kappaleen sarjana. Tämän avulla oli mahdollista päätellä yrityksen hintakantaa, sekä heidän arvioimiaan aloituskustannuksia kappaleisiin. Tarjoukset ovat koostettuna taulukossa 29 sivulla 47 ja taulukossa 30 sivulla 48. Taulukot on tehty yritysten lähettämien tarjousten perusteella. Tarjoukset ovat esiteltyinä liitteinä 5 – 8. MaseMat Oy ei pystynyt tarjoamaan Kronoksen osia. Lisäksi referenssinä käytetyn nykyisen alihankintakonepajan tarjouksia pienenä sarjana ei saatu työtä tehdessäni. Kaikki tarjoukset sisältävät arvonlisäveron 24 %. Työkalu Kostamo Oy ehdotti kappaleiden valmistamista eri valmistajan samankaltaisesta esityöstetystä teräslaudasta (1.2085), koska kyseinen teräs on heille tutumpaa ja se on varastotavaraa.

Taulukoissa 29 ja 30 oleva ale-sarake on laskettu kaavaa 1 käyttäen. Sen avulla voidaan päätellä keskimääräisiä aloituskustannuksia sekä yrityksen myöntämää alennusprosenttia pieneen sarjaan. Tässä tapauksessa aloituskustannukset sisältävät työstöratujen ohjelmoinnin, kappaleen työstöön vaadittavan kiinnittimen tekemisen sekä mahdolliset uusien terien hankinnat.

$$\text{Keskim. Ale (\%)} = \frac{\text{Alennuksen määrä yksittäiskappaleista sarjana tuotettuna (\text{€})}}{\text{Yksittäistuotannon kappaleiden kokonaishinta (\text{€})}} \quad (1)$$

Taulukko 29 Tarjoukset Kronoksen kappaleista

Kappale		1478-2101		1478-2201		
X	Määrä/Hinta	€/kpl	€/kpl (3srj)	€/kpl	€/kpl (3srj)	Kesikim. Ale (%)
K o n e p a j a	Työkalu Kostamo Oy (M315)	xx	xx	xx	xx	xx
	Työkalu Kostamo Oy (1.2085)	xx	xx	xx	xx	xx
	MaseMat Oy (M315)	xx	xx	xx	xx	xx
	Teräshelmi Oy (M315)	xx	xx	xx	xx	xx
	Nykyinen käytössä oleva (M315)	xx	xx	xx	xx	xx

Taulukon 29 perusteella voidaan todeta Teräshelmen tarjouksen olevan parempi kuin Työkalu Kostamon. Yksittäistilauksella Teräshelmen tarjous on keskimäärin 20,4 % halvempi kuin Työkalu Kostamon samasta materiaalista valmistetut Kronoksen kappaleet. Tarkasteltaessa kappaleita pienenä sarjana tilattuna ero korostuu entisestään peräti 39,0 %. Tämä johtuu pääosin Työkalu Kostamon huonosta alennuksesta sarjatyötä tehtäessä. Sain Aforelta vertailtavaksi nykyisen käytössä olevan konepajan yksittäiskappaleiden hinnat. Mikäli kyseisiä hintoja vertailee keskenään, voi helposti todeta Työkalu Kostamon hinnoittelun olevan pahasti ylihinnoiteltu. Sen sijaan Teräshelmen tarjous Kronoksen osissa on keskimäärin 16,6 % kalliimpi kuin nykyisin käytössä olevan konepajan.

Taulukko 30 Tarjoukset Apollonin kappaleista

Kappale		105479		105482		
X	Määrä/Hinta	€/kpl	€/kpl (3srj)	€/kpl	€/kpl (3srj)	Kesikim. Ale (%)
K o n n e p a j a	Työkalu Kostamo Oy (M315)	xx	xx	xx	xx	xx
	Työkalu Kostamo Oy (1.2085)	xx	xx	xx	xx	xx
	MaseMat Oy (M315)	xx	xx	xx	xx	xx
	Teräshelmi Oy (M315)	xx	xx	xx	xx	xx
	Nykyinen käytössä oleva (M315)	xx	xx	xx	xx	xx

Taulukon 30 perusteella voidaan todeta MaseMatilla olevan kallein yksittäistuotanto, kun taas Työkalu Kostamo on kallein pienessä sarjassa. Vaikka suurimman alennuksen Apollonin kappaleista myönsi MaseMat Oy, niin suurten aloituskustannusten vuoksi se ei silti ole edullisin pienillä sarjoilla. Samasta materiaalista valmistettujen kappaleiden kalleimman (MaseMat Oy) ja halvimman (Teräshelmi Oy) yksittäistuotetun kappaleen keskimääräinen ero on 29,7 % Teräshelmen eduksi.

Verrattaessa tarjouskilpailun voittajaksi valikoituneen Teräshelmen hintoja nykyiseen käytössä olevan konepajan hintoihin voidaan todeta sen olevan potentiaalisin vaihtoehto. Tarjouksia ei kuitenkaan voi suoraan verrata nykyisin käytössä olevan konepajan hinnoihin, sillä kyseisen yrityksen aloituskustannukset ovat jo useamman vuoden yhteistyön tuloksena pystytty kuolettamaan hinnoista pois. Tämä vaikuttaa oleellisesti kyseisen alihankintakonepajan hinnoitteluun.

Yritettäessä arvioida yksittäistilattujen kappaleiden hintakehitystä voidaan alihankkijan kanssa yrittää neuvotella erilaiset hinnat seuraaville kappaleille. Alihankkija on nimittäin laskenut aloituskustannukset jo ensimmäiseen kappaleeseen mukaan. Tällöin voidaan ajatella alihankintaan vaadittujen aloituskustannuksien olevan kuoletetut jo ensimmäisellä tilauksella.

Aloituskustannuksiksi voidaan arvioida noin 32 % kappaleeseen kohdistuneista työkuiluista. Kyseinen arvio on saatu laskemalla keskiarvo Tarja Jallin ja Lauri Kaikkosen opinäytetöissään tutkimistaan koneistamiseen käytetyn työajan jakautumisista. Lisäksi keskiarvoon on lisätty kiinnikkeiden raaka-aine kuluksi 3 %. Tuotteen jatkuvuutta ajateltaessa kyseistä prosenttia ei kuitenkaan voi suoraan vähentää edes arvonlisäverottomista

hinnoista, sillä se on vain osana kappaleeseen kohdistuvissa muuttuvissa kuluissa. Kulu-
jen päälle lasketaan vielä kate. Tämä on kuitenkin eräs syy sarjana tuotetun tuotteen alen-
nyksen syntymiseen. Syitä on lisäksi muita, kuten tarjouskilpailun voittaminen, lisä-
myynnistä saatavat lisätuotot sekä omat henkilökohtaiset syyt. (Jalli, T, 2013. Kaikkonen,
L, 2009.)

Teräshelmi Oy ja MaseMat Oy molemmat osaavat selkeästi hyödyntää käytössä olevaa
tekniikkaansa hinnoittelussaan, sillä molempien tarjoukset sarjahinnoittelussa olivat hy-
vällä tasolla. MaseMat Oy:n hinnoittelustrategia on melko selkeä. Aloitushinta on korkea,
mutta jo pienellä sarjalla alennusta tulee keskimäärin 44,8 %. MaseMat Oy selkeästi pyr-
kii ohjaamaan tilauksia sarjoihin. Työkalu Kostamo Oy:n tarjouksessa sen sijaan on jotain
pielessä. Joko yritys ei osaa hyödyntää tekniikkaansa sarjatuotantoon tai sitten yritys ei
vain ole kiinnostunut valmistamaan tuotteita. Yrityksen hintataso näyttää kaikin puolin
korkealta, joten sitä ei kannata harkita potentiaaliseksi yhteistyökumppaniksi vaikka laa-
dullisesti ja toimitusvarmuudeltaan yritys voisikin olla hyvällä tasolla.

Hintatarkastelun pohjalta potentiaalisiksi vaihtoehtoiksi jäävät MaseMat Oy ja Teräs-
helmi Oy. Koska työn tehtävänä oli hankkia yhteistyökumppani, joka pystyisi valmista-
maan kaikkia kyseisiä kappaleita, eikä MaseMat Oy pysty valmistamaan kuin toisen ko-
neen osia on se merkittävä negatiivinen tekijä yhteistyökumppania haettaessa.

Kävimme tutustumassa Aforen valmistuspäällikön kanssa Teräshelmen toimitiloihin. Te-
räshelmen toimitusjohtaja vaikutti asiaan paneutuneelta henkilöltä, jolta voisi odottaa
jämpäitä yhteistyötä. Lisäksi toimintaympäristö vaikutti hakemaltamme konepajalta. Te-
räshelmi Oy:llä on käytössään EN 9001/2008 laatujärjestelmä ja heidän referenssityönsä
ovat melko vaikuttavia. Yrityksen toimitusvarmuus oli viimevuonna 100 % ja edellisinä
vuosina se on myös ollut korkealla tasolla. Yritys on sijainniltaan hyvällä paikalla, sillä
siitä on noin tunnin ajomatka Lietoon Afore Oy:lle. Yrityksen tulos on viimeisen neljän
vuoden aikana ollut keskiarvoltaan xx euroa positiivinen, joten yrityksen toiminta on va-
kaalla pohjalla. Yritys sopii myös kokonsa puolesta hakuprofiiliin sillä se työllistää viisi
työntekijää. (Fonecta)

Teräshelmi Oy:n riskit ovat siis siedettävällä tasolla. Hintariskiä tarkasteltaessa yritys on
hinnoitellut tuotteensa oikein. Yritykseen kohdistuvaa laaturiskiä on vaikea arvioida,
mutta yritys on sitoutunut EN 9001/2008 laatujärjestelmään, sekä valmistaa vaativia osia

vaativalle asiakkaalle. Nämä seikat puolesta puhuvat hyvästä laadusta. Teknologiaan liittyviä riskejä on kuitenkin olemassa, sillä yritys oli hankkinut uuden CNC sorvin, mutta koneen käyttäjä oli vasta ammattikoulussa opiskelemassa koneen käyttöä. Tämä ei suoranaisesti koske juuri kyseisiä kappaleita, sillä ne valmistetaan jyrsimällä. Kyseinen asia pitää kuitenkin ottaa huomioon. Varasto- ja aikatauluriski on alhainen, koska yrityksen toimitusvarmuus on korkea. (Teräshelmi)

7 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tekeminen lähti liikkeelle projektin suunnittelulla ja hienomekaanisten konepajojen kartoittamisella. Ensin piti pohtia miten lähestyä yrityksiä ja millainen sähköposti tulisi lähettää, jotta asia tulisi ymmärretyksi. Tuli myös miettiä miten konepajoja pystyisi vertailemaan keskenään.

Ohjausjärjestelmän vaihtaminen toiseen valmistajaan oli melko laaja kokonaisuus ja vaati tarkkaa perehtymistä koneiden toimintaan. Alkuun perehdyin kahden kohdekoneen toimintaan hieman syvällisemmin, jonka jälkeen kävin läpi koneen sisällä olevia komponentteja. Sen jälkeen tutustuin koneissa käytössä oleviin komponentteihin valmistajien esitteiden ja teknisten tietojen perusteella. Opinnäytetyön loppua kohden koneiden toiminta ja komponentit kävivät selkeämmiksi.

Aluksi suunnitelmassa oli kohdistaa ohjausjärjestelmän vaihdos vain Jetter Ag:n osin, mutta väylän tuomien lisämahdollisuuksien ja mielenkiinnon takia aihetta laajennettiin myös Omronin tarjoamiin muihin komponentteihin. Lisäksi olisi ollut mahdollista tutkia ja tehdä hintaselvitys myös toisen valmistajan I/O-moduuleilla, mutta se ei ollut käytännössä mahdollista annetun aikarajan puitteissa.

7.1 Ohjausjärjestelmän säästömahdollisuus

Ohjausjärjestelmän vaihtaminen on taloudellisesti kannattava vaihtoehto. Molempien koneiden kohdalla järjestelmästä tuli edullisempi ja monipuolisempi Omronin versioilla. Ohjausjärjestelmän vaihdokseen liittyy kuitenkin vielä muutoksesta aiheutuvia suunnittelukustannuksia. Lisäksi uuden ohjelman tekeminen kyseisiin koneisiin vie ohjelmoitsijoiden työaikaa.

Afore Oy:n ohjelmointi-insinöörin kanssa käydyn keskustelun perusteella ohjelmointi veisi suunnilleen saman ajan kuin aiemminkin. Ohjelman tekemiseen hän arvioi kuluvan konekohtaisesti noin kuusi kuukautta yhtäjaksoista kokoaikatyötä. Hän näkisi, että tulevaisuudessa Afore Oy:n koneisiin joudutaan asentamaan yhä enemmän kommunikointiin käytettyjä JC-360-4:sia Jetterin huonon väylätuen takia. Tämä taas tarkoittaa turhia kustannuksia ja korostaa vaihdoksen ajankohtaisuutta Omronin järjestelmään. (Afore Oy)

Asiaa laajemmassa mittakaavassa tutkiessa sekä uusia projekteja mielessä pitäen olisi järkevää tehdä vaihdos mahdollisimman pian, jotta Jetterin järjestelmällä suunniteltaviin ja rakennettaviin koneisiin ei enää tuhlautuisi resursseja. Mielestäni vaihdos on kilpailukykyyn säilymisen ja paremman tuloksen tekemisen kannalta erittäin ajankohtainen ja yksiselitteinen.

Sysmac Studio on selkeä ohjelmisto ja sen omaksumiseen ei ainakaan kokeneemmille ohjelmoijille tarvitse järjestää pidempiä kursseja. Toisin sanoen koulutukseen tarvittavat resurssit eivät mielestäni nouse kynnyksysymykseksi ohjausjärjestelmän vaihdosta ajattellessa.

Vaihdoksesta saatavat hyödyt ovat taloudellisesti kannattavia. Sen lisäksi Omronin tuemat väylät mahdollistavat aiempaa laajemmat mahdollisuudet käyttää muiden valmistajien laitteita. Kaiken kaikkiaan ohjausjärjestelmän vaihtamisesta syntyviä kustannuksia on vaikea arvioida tarkasti kokonaisuudessaan, sillä uusien ohjelmien tekemiseen ja niiden toimintaan saattamisessa voi tulla yllätyksiä vastaan.

Ohjausjärjestelmän kannalta mielenkiinto heräsi EtheCAT:in tuomiin lisämahdollisuuksiin. Mielenkiintoista olisi selvittää myös eri merkkien kesken I/O-moduulien hintaeroja sekä niiden soveltuvuutta kyseisiin järjestelmiin. Ohjausjärjestelmien osalta vaadittu selvitys saatiin tehtyä ja hypoteesina pidetty mahdollinen säästöpotentiaali osoittautui todeksi. Työn johdosta syntyi hyvä pohja ohjausjärjestelmän vaihdokseen liittyvistä muutoksista.

7.2 Alihankintakonepajan valinta

Pienen hienomekaanisen alihankintakonepajan löytäminen uuden rinnalle ei ollut helppo tehtävä. Vaikka otantaan otettiin kaiken kaikkiaan 51 eri konepajaa ympäri Suomea, ei tekijöitä löytynyt montaa. Karsivaksi tekijäksi osoittautui Kronoksen osissa olevat viiden tuhannesosamillin kohtisuoruus ja tasomaisuus vaatimukset. Niiden todentaminen ja mitaaminen on vaikeaa.

Vaikka yritys hakeekin luotettavaa yhteistyökumppania, joka pystyy toimittamaan oikeanlaisia kappaleita, niin lopullinen ero ilman mallikappaleita jää kuitenkin enemmän tai

vähemmän erilaisten arvioiden ja luottamuksen varaan. Tarjousten perusteella järkeväksi vaihtoehdoksi jää vain Teräshelmi Oy, jonka yksittäis- ja sarjatuotannon hinnat olivat siedettävällä tasolla.

Teräshelmi Oy on mielestäni kokeilemisen arvoinen ottaen huomioon Afore Oy:n päätarkoituksen saada toimitusvarmuutta parannettua vaativille alihankittaville kappaleille. Teräshelmen referenssiluettelo on mielenkiintoinen ja sen toiminta vaikuttaa päällepäin hyvältä. Totuus paljastuu kuitenkin vasta ensimmäisen tilauksen jälkeen. Ensimmäisen tilauksen pohjalta on helppo jatkaa uuteen yhteistyöneuvotteluun, sillä tällöin tiedetään jo huomattavasti paremmin Teräshelmen laadun- ja palvelun tasosta.

Afore Oy:n tulee tarkastella asiaa strategisesta näkökulmasta. Yrityksen huoli toimitusvarmuudesta liittyy pitkäkatsaisempaan ajattelutapaan, kuin vain kilpailuttamisesta saataviin välittömiin hyötyihin. Strategisella tavalla yhteistyön kannattavuus saa uusia näkökulmia, sillä uudelle hyvälle yhteistyökumppanuudelle on vaikea asettaa rahallista arvoa.

Asia saa rahallisen merkityksen, mikäli Afore Oy:n ajatus toimitusvarmuuden suhteen osoittautuu oikeaksi. Tällöin on helppo kääntyä toisen alihankkijan puoleen, mikäli hänellä on jo ennestään tietoa ja kokemusta kyseisten osien valmistamisesta. Komponenttien hintaeroa voidaan käsitellä ikään kuin lisämaksuna tai vakuutena toimitusvarmuudelle. Vakuus lunastetaan kriittisen kappaleen toimituksen estyessä.

Hienomekaanisen konepajatoiminnan toimitusvarmuuden kehittämiseksi asetetut tavoitteet täyttyivät, sillä työn tuloksena löytyi yksi kaikki kriteerit täyttävä konepaja. Hintavertailua tehtäessä nykyisen alihankintakonepajan ja Teräshelmi Oy:n kesken on huomioitava kuitenkin yhteistyön pituudet. Yhteistyön kesto vaikuttaa muun muassa yrityksen kilpailukykyyn tietyillä erikoistuotteilla. Lisäksi tulee huomioida, että tarjoukset pohjautuivat vain liitteissä 1 – 4 esiteltyihin kappaleisiin. Tarjoukset muuttunevat kilpailukykyisemmiksi, mikäli yhteistyön volyymi yrityksen kanssa laajenee.

Jatkokysymyksinä alihankittavien osien suhteen itselle heräsi kysymys, että olisiko kannattavaa ottaa haastavien kappaleiden valmistus itselle tuotantoon? Tällöin voitaisiin varmistua laadukkaiden kappaleiden saatavuudesta. Toiminta voi kuitenkin olla kalliimpaa kuin alihankkijalta hankittuna. Tarvittavien työstökoneiden hankintahinta ja niiden toiminnan ylläpitäminen sekä työvoiman kulut vaatisivat laajempaa tuotantoa. Toisaalta se

luo lisäksi lisää haasteita yritykselle. Tällöin tarvitaan lisää osaamista kyseisestä toiminnasta, joka taas vaikuttaa juokseviin kuluihin merkittävästi uuden henkilöstön muodossa.

Tarjouskyselyä tehdessä olisi ollut hyvä tuoda esille kuinka monella eurolla alihankintapalveluja ostetaan vuodessa. Kyseinen tieto olisi antanut mittasuhteita alihankkijoille. Tämä olisi huomioitu tarjouksia tehdessä parempien tarjousten muodossa.

Omaa tuotantoa halvempi vaihtoehto olisi varmasti pitää jonkun kokoisia puskurivarastoja kriittisimmistä tuotteista. Tämä saattaa olla ongelmallista, mikäli asiakas haluaa muokata omaa konettaan. Tällöin kappaletta voi olla vaikea tai mahdoton hyödyntää, jolloin se jää pahimmillaan varaston hyllylle. Puskurivaraston ylläpitäminen sitouttaa rahaa yhä enemmän varastoon.

Loppujen lopuksi olen tyytyväinen työni kokonaisuuteen, vaikka aihe oli laaja ja sisälsi kaksi erillistä asiakokonaisuutta. Omaksi yllätyksekseni totesin tiedon saamisen olevan välillä yllättävänkin vaikeaa eri tahoilta. Esimerkiksi joidenkin tarjousten perään sai kysellä ahkerasti. Kuitenkin yhteistyö eri yritysten ja Afore Oy:n kanssa oli sujuvaa ja aktiivista. Opinnäytetyöni oli aiheeltaan osuva ja mielenkiintoinen, koska se piti sisällään opiskelemiani taloudellisia ja teknisiä kokonaisuuksia.

Tämän opinnäytetyön tuloksina saatiin Afore Oy:lle selvitys ohjausjärjestelmän vaihdoksesta saatavista taloudellisista hyödyistä, sekä löydettiin uusi mahdollinen hienomekaaninen konepaja Afore Oy:n vaativien alihankittavien kappaleiden valmistamiseen. Tämän opinnäytetyön tietojen perusteella Afore Oy pystyy tekemään lopulliset päätökset ohjausjärjestelmän vaihdoksen ja vaativien alihankintakappaleiden toimitusvarmuuden kehittämisen kannalta.

LÄHTEET

Afore Oy:n kotisivut. <http://www.afore.fi/fi/yritys>

Fonecta. Finder yritystieto.

<http://www.finder.fi/Metallirakenteita,%20ter%C3%A4srakenteita/Ter%C3%A4shelmi%20Oy/FORSSA/taloustiedot/180191>

Iloranta, K & Pajunen-Muhonen, H. 2015. Hankintojen johtaminen. Ostamisesta toimittajamarkkinoiden hallintaan. Neljäs, tarkistettu laitos. Helsinki: Tietosanoma Oy.

Industrial Automation Guide. 2014. Omron.

Jalli, T. 2013. Jyrsinkoneiden vakiotyökalut sekä koneistustöiden esivalmistelun haasteet. Tuotekehityksen koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Jetter Ag:n kotisivut. <http://www.jetter.de/en/home.html>

Jetter Ag:n Suomen kotisivut. <http://www.jetter.fi>

Kaikkonen, L. 2009. Työstökonehankinta Lahti Precision Oy:lle. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Lockamy, A. & McCormack, K. 2010. Analysing risks in supply networks to facilitate outsourcing decisions. International Journal of Production Research 48 (2) 593–611.

MaseMat Oy:n kotisivut. <http://www.masemat.fi/>

OMRON Electronics Oy:n kotisivut. <http://industrial.omron.fi/fi/home>

Sysmac Catalogue. Neljäs painos. Omron.

Teräshelmi Oy:n kotisivut <http://www.terashelmi.fi/index.php>

Van Weele, A. J. 1994. Purchasing Management – Analysis, Planning and Practice. London: Chapman & Hall.

LIITTEET

Liite 1. Esikarsiva sähköposti

Liite 2. Esimerkkikappale 1

(Afore Oy)

Liite 3. Esimerkkikappale 2

(Afore Oy)

Liite 4. Esimerkkikappale 3

(Afore Oy)

Liite 5. Esimerkkikappale 4

(Afore Oy)

Liite 6. Tarjous 1

(Teräshelmi Oy)

Liite 7. Tarjous 2

(MaseMat Oy)

Liite 8. Tarjous 3

(Työkalu Kostamo Oy)

Liite 9. Tarjous Selenen ohjausjärjestelmästä

1 (4)

(Omron Electronics Oy)

(jatkuu)

Liite 10. Tarjous Kronoksen ohjausjärjestelmästä

1 (4)

(Omron Electronics Oy)

(jatkuu)

Liite 11. Tarjous Selenen venttiilipaketista

1 (2)

(SMC Pneumatics Finland Oy)

(jatkuu)

Liite 12. Tarjous Selenen lämpötila- ja kosteusmittalaitteesta

(Vaisala Oy)