



ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU HAMMASPYÖRÄKOKKOONPANOON

Emmi Ruotsalainen

Insinöörityö
Joulukuu 2011
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kone- ja laiteautomaation suuntautumisvaihtoehto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kone- ja laiteautomaatio

Työn tekijä: Emmi Ruotsalainen
Työn nimi: Robottisolun suunnittelu hammaspyöräkokoonpanoon
Sivumäärä: 40 sivua, 2 liitettä (2 sivua)
Valmistumisaika: Joulukuu 2011
Työn ohjaaja: Laboratorioinsinööri Seppo Mäkelä
Työn tilaaja: AGCO Sisu Power Oy
Valvoja: Valmistuspäällikkö Pekka Helminen (DI)

Tämä insinöörityö on tehty AGCO Sisu Power Oy:n hammaspyöräosastolle, jossa tehdään monia erilaisia hammaspyöriä ja akseleita sekä vaihteistoja. Työn tarkoituksena oli suunnitella robottisolu, jossa voidaan kokoonpanna erilaisia välihammaspyöriä. Haasteena olivat erityisesti layout suunnittelu ja komponenttivalinnat. Työ oli luonteeltaan esitutkimus ja käytetty tutkimusmenetelmä oli soveltava tutkimus.

Työssä on suunniteltu kokoonpanon automatisointi pääpiirteittäin. Läpikäytyjä asioita olivat työkierto ja siihen menevä aika, layout sekä komponenttivalinnat. Työkierto pysyi pääosin samana kuin manuaalisessa kokoonpanossa. Ainut muutos oli osien samanaikainen prässäys. Robottisoluun valitut pääkomponentit olivat robotti, prässä ja automaattinen hyllyjärjestelmä. Pienten osien syöttö tapahtui tärymaljoista. Robottiin päätettiin ottaa myös voimaohjaus tulevaisuutta silmällä pitäen. Työkierron ja komponenttien pohjalta suunniteltiin yksi mahdollinen layout vaihtoehto. Suunnitelmassa robotti on solun keskellä ja muut toiminnot sijaitseva sen lähellä ympyrän kehällä. Lopuksi suoritettiin muutamia laskelmia ja vertailtiin kustannuksia manuaalisen ja automaattisen kokoonpanon välillä.

Edellä mainittujen tulosten pohjalta pystyttiin sanomaan, että välihammaspyöräkokoonpano kannattaa tulevaisuudessa automatisoida. Ennen solun toteuttamista tulisi kuitenkin suunnitella tarkemmin valmiiden kokoonpanojen sijoittelu ja miettiä työkierto parhaaksi mahdolliseksi. Mahdollisten työkiertoon liittyvien muutosten pohjalta layout tulisi vielä tarkastaa. Lisähuomiota vaativat myös kaikki tarttumat, joita tässä työssä ei ole kovin tarkasti suunniteltu. Solussa on myös paljon laajentamismahdollisuuksia.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Option of Machine Automation

Writer: Emmi Ruotsalainen
Thesis: Designing Robot Cell for Gear Assembly
Pages: 40 pages, 2 appendices (2 pages)
Graduation time: December 2011
Thesis supervisor: Laboratory Engineer Seppo Mäkelä
Co-operating Company: AGCO Sisu Power Oy
Supervisor: Production Manager Pekka Helminen (M.Sc.)

This final thesis has been written for the gear department of AGCO Sisu Power, which produces different kinds of gears, axels and transmissions. The purpose is to design a robot cell in which intermediate gears can be assembled. The main challenges were layout design and the component choices. The thesis is a pilot study and the research method was applied research.

There has been designed the main features of automatic assembly. The robot's working cycle and the time that it takes, as well as the layout and the component choices are the things that is being reflected on. The cycle of manual assembly could also be used in automatic cell. The only thing that was changed was the press phase. The main components of the cell are the robot with force control, press and automatic shelving. Feeding of the small parts was handled with a vibration bowl. Force control was added to the robot when thinking the future options. In one possible layout option the robot was in the middle and the other components surrounding it in a circle. At the end there are some calculations and comparisons within the manual and automatic assembly.

After the design process can be concluded that it is worth automatize the assembling. There are some things that need further thought and design before it is possible to build the cell. The things are for example the placement of finished products and the best possible working cycle. Then also the layout and the grippers need to be improved. Expanding the cell is also a possibility.

Keywords: Robot cell, Robot, Layout, Force control

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty AGCO Sisu Power Oy:lle kesän ja syksyn 2011 aikana. Tehtävän toteutus oli luonteeltaan melko haastava, sisällä se oli todella laaja-alainen.

Olen työskennellyt AGCO:n Linnavuoren toimipisteessä vientimyyjä harjoittelijana tammikuusta 2011 lähtien. Tämä auttoi minua opinnäytetyöni hankkimisessa ja laatimisessa.

Työn ohjasi AGCO:lla valmistuspäällikkö Pekka Helminen. Työn suunnittelussa minua auttoivat Juha Lintonen sekä Juha Kuusisto. Lisäksi kustannusasioissa työkalusuunnittelija Anni Pylkistä oli iso apu. Teoriaosuuden materiaalin haussa apunani oli työnohjaaja Seppo Mäkelä. Kiitokset myös Tero Haapakoskelle, joka auttoi minua solun mallintamisessa ja työkiertoon menevän ajan määrittämisessä.

Suuri kiitos AGCO Sisu Power Oy:lle mahdollisuudesta työntekoon.

Insinöörityö sai alkunsa Toukokuussa 2011

27.11.2011

Emmi Ruotsalainen

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

HP	Hammaspyörä
KN	Konenäkö
FMS	Flexible Manufacturing System
JOT	Just On Time

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET	5
1 JOHDANTO	8
2 AGCO SISU POWER.....	9
2.1 AGCO- konserni	11
2.2 Hammaspyöräosasto	12
3 KOKOONPANO	13
3.1 Kokoonpanon kehittäminen	13
3.2 Kokoonpanon automatisointi	13
3.2.1 Automatisoinnin vaatimukset	13
3.2.2 Automatisoinnin tuomat edut ja haitat	14
4 MATERIAALIVIRTA.....	16
4.1 Layout	16
4.2 Materiaalin hallinta	17
5 LAITTEET	18
5.1 Robotti	18
5.2 Konenäkö	20
5.3 Force control	21
6 KOKOONPANOJÄRJESTELYT	23
6.1 Lähtötilanne	23
6.2 Hammaspyöräkokoonpano.....	23
6.3 Kokoonpanosolun esiselvitykset.....	26
6.3.1 Mahdollisuus automaattiseen kokoonpanoon	26
6.3.2 Kannattavuus.....	27
6.4 Kokoonpanosolun määrittäminen.....	27
6.5 Kokoonpanosolun ongelmakohdat.....	29
6.5.1 Komponenttien valinta.....	29
6.5.2 Osien prässäys samanaikaisesti.....	30
6.5.3 Layout suunnittelu.....	31
6.5.4 Työkierto.....	31

	7
7 LASKELMAT	33
7.1 Manuaalinen kokoonpano lukuina	33
7.2 Automaattinen kokoonpano lukuina	33
7.3 Lukujen vertailua	35
8 KOKOONPANOSOLUN JATKOKEHITYS.....	37
LÄHTEET	39
LIITTEET	40

1 JOHDANTO

Lähitulevaisuudessa kasvavat tuotantomäärät luovat tarpeen lisätä automaattisen tuotannon määrää. Tämän vuoksi AGCO Sisu Powerilla ilmeni tarve ruveta kartoittamaan tämän hetkisten manuaalisten kokoonpanojen muuttamista automaattisiksi. Tämän työn tarkoituksena onkin suunnitella robottisolu manuaalisen välihammaspyörä kokoonpanon tilalle. Aihe on rajattu siten, että robottisoluun liittyvät asiat suunnitellaan vain pääpiirteittäin ja suunnitelmien rinnalla kerrotaan hieman teoriaa soluun liittyvistä oleellisista asioista.

Aluksi esitellään työn tilaaja AGCO:n Linnavuoressa sijaitseva dieselmoottoritehdas ja sen historiaa ja perehdytään sen nykyiseen omistajaan AGCO konserniin. Tarkemmassa tarkastelussa on vielä erityisesti tehtaan hammaspyöräyksikkö tuotteineen ja tunnusluokineen.

Työn alussa olevassa teoriaosuudessa kerrotaan aluksi kokoonpanosta ja sen automatisoinnista yleisellä tasolla. Tämän jälkeen syvennytään materiaalivirtaan kertomalla layoutista ja materiaalinhallinnasta. Sitten työssä on esitelty vielä solun tärkeimmät komponentit lähinnä keskittyen robottiin ja sen komponentteihin voimaohjaukseen ja konenäköön.

Suunnitteluosiossa lähdetään liikkeelle olemassa olevasta lähtötilanteesta ja esiselvityksistä. Alkutilanteen hahmottamisen jälkeen aletaan määritellä uutta automaattista kokoonpanoa. Kun kaikki osa-alueet on suunniteltu, listataan suunnittelussa ilmenneitä ongelmakohtia.

Lopuksi esitellään laskelmat ja tehdään vertailua manuaali- ja automaattikokoonpanon välillä. Lisäksi selvennetään lopputulokset ja miten solua voisi jatkossa kehittää paremmaksi. Tuloksia voidaan pitää luotettavina, sillä ne on käyty huolellisesti läpi AGCO:n asiantuntijoiden kanssa.

2 AGCO SISU POWER

Työn tilaaja AGCO Sisu Power on pääasiassa dieselmoottoreiden ja aggregaattien valmistaja. Moottoritehdas sijaitsee Nokian Linnavuorella noin puolen tunnin ajomatkan päässä Tampereelta. Tehtaalla on pitkä historia, joka ulottuu 1940-luvulle asti. Rakentaminen aloitettiin tontilla vuonna 1942 (kuvio 1) ja viisi vuotta myöhemmin valmistui ensimmäinen Valmetin dieselmoottori.



KUVIO 1. Alkuperäinen tehdas. (Yritysesittely 2011)

Tehtaalla on ollut vuosien saatossa monia eri omistajia ja nimiä. Alun perin tehdas oli puolustusministeriön omistuksessa, sitten 1946 nimeksi tuli VMT. 1951 tehdas tuli osaksi Valmettia ja 1994 tehdas vaihtoi nimensä Sisuksi. Samana vuonna yrityksestä erkani erikoistyöstökonevalmistus (Fastems) ja lentomoottorien huolto ja peruskorjaus (Patria). Myöhemmin 90-luvulla omille teilleen lähtivät myös Partek ja Kone. Nykyisen nimensä yritys sai vuonna 2008 fuusioituttuaan Yhdysvaltalaisen AGCO konsernin kanssa 2004. Kompessorien ja ottomoottoreiden valmistus loppui 1960-luvulla ja laivamoottoreiden 1980-luvun puolivälin tienoilla.



KUVIO 2. Nykyisen tehdasalueen ilmakuva (Yritysesittely 2011)

Tehdasalueella on tätä nykyä monta eri hallia, joilla kaikilla on oma funktionsa. Rakennusten sijainnit on esitetty kuviossa 2. Esimerkiksi yhdessä hallissa keskitytään uusien moottorien valmistukseen automaattilinjastossa. Tehtaassa työskennellään moottorikoonpanossa kolmessa vuorossa ja kapasiteetti on tätä nykyä 160 moottoria päivässä. Vuosina 2005–2007 raskasmoottorikoonpano muutettiin automaattiseksi. Tehtaassa kunnostetaan myös vanhoja moottoreita ja koneistetaan muun muassa hammaspyöriä ja sylinteriryhmiä. Työntekijöitä yrityksellä on Suomessa noin 680, joista 470 on tuotannon työntekijöitä ja 180 toimihenkilöitä. Työntekijöistä 10 % on naisia ja ikärakenne painottuu nuoriin aikuisiin.

Moottorit täyttävät uusimmat päästövaatimukset ja erilaisia malleja on 44–367 kW:n välillä ja niitä on saatavilla 3-7 sylinterisinä. Kuviossa 3 on esimerkiksi seitsemän sylinterinen työkonemoottori näyttelyväriyksessä. Tuotekehitys työskentelee jatkuvasti täyttääkseen alati tiukentuvat hiilidioksidipäästömääräykset. Tänä vuonna astui voimaan Tier 3 ja vuonna 2014 astuu voimaan Tier 4, jonka tavoitteena on vähentää hiilidioksidipäästöjä 97 %:lla. Moottoreita tehdään erilaisiin käyttökohteisiin. Tuotannossa on esimerkiksi merimoottoreita, työkonemoottoreita, aggregaatteja ja generaattoreita sekä pumppuja. Tuotannossa valmistetaan myös hammaspyöriä ja vaihteistoja. Aggregaatteja on saatavilla 15-2000kVa versioina.



KUVIO 3. 7-sylinterinen työkonemoottori

2.1 AGCO- konserni

AGCO:n visiona on tuottaa huippuluokan ratkaisuja maailmaa ruokkiville viljelijöille. Missiona on puolestaan saavuttaa kannattavuuskasvu työhön sitoutumisella, innovaatioilla, laadulla ja asiakkaan ainutlaatuisella palvelemisella. Yrityksen liikevaihto oli viime vuonna 6,9 miljardia dollaria. Vuotta aiemmin eli vuonna 2009 vastaava luku oli 6,5 miljardia. Lähes puolet liikevaihdosta tuli EAME maista (Eurooppa, Afrikka ja Keski-Itä). Linnavuoren yksikkö on AGCO:n ainoa oma moottoritehdas. Konserni on maailman kolmanneksi suurin maatalouskoneiden kehittäjä ja valmistaja ja jälleenmyyjä on yli 140 eri maassa.

AGCO:lla on lukuisia erilaisia asiakkaita ympäri maailmaa. Kappaleen jälkeen on joitakin suurimpia asiakkaita toimialoittain listattuna. Asiakkaista merkittävin segmentti on perinteisesti metsäkonevalmistajat koneiden suuren käyttöasteen vuoksi. Useat maailman johtavat traktorimerkit käyttävät AGCO:n moottoreita traktoreissaan. Yrityksen moottoreita käyttävät lisäksi useat muut työkonvalmistajat ympäri maailmaa. (Yrityksen Internet-sivut.)

Traktorit: Massey Ferguson, Challenger, Steyr, New holland, Case, Valtra, Fendt, Crystal tractor

Leikkuupuimurit: Massey Ferguson, Fendt, Sampo rosenlew, Laverda, Gleaner AGCO

Metsäkoneet: Valmet, Logset, Logman, Sampo rosenlew, Profi-forest oy

Satamatrukit: Kalmar

Muita työkoneita: Kalmar, Lännen tractors, Challenger

Aggregaatteja: JCB power systems, Massey Ferguson, Scangen, AGCO sisu power genpowex, AJ power

2.2 Hammaspyöräosasto

Hammaspyöräosastolla tehdään monia erilaisia hammaspyöriä ja akseleita sekä vaihteistoja muun muassa puimureihin ja moottorikelkkoihin. Tuotteita valmistetaan pääasiassa omaa ja Valtran tuotantoa varten mutta jonkin verran myydään myös muille ulkopuolisille yrityksille. Hammaspyöräyksikön myynti oli vuonna 2010 21,7 miljoonaa euroa. Tästä suurin osa (84 %) tuli hammaspyöristä ja akseleista ja loppusumma vaihteistoista. Tänä vuonna on tarkoitus valmistaa yli miljoona hammaspyörää. Tämä määrä on lähes sama mikä valmistettiin ennen lamaa yrityksen huippuvuonna 2008.

Linnavuorella tehdään hammaspyöriä omien ja asiakkaiden piirustusten mukaan. Valmistuksessa käytetään uusinta CNC -teknologiaa sorvauksessa, vierintäjäyrissä, vierintäpistossa, hiilletyskarkaisussa ja hampaiden viimeistelyssä. Tällä hetkellä on käytössä kolme erilaista hammaspyörävalmistuslinjaa. Yhdessä linjassa valmistetaan joustavassa sarjatuotannossa lieriöhammaspyöriä ja toisessa samantapaisessa linjassa akseleita. Näiden linjojen lisäksi on olemassa kolmas linja, jossa tehdään manuaalipanosteisesti pieniä eriä erilaisia tuotteita piensarjatuotannossa.

Tämänhetkinen kapasiteetti on 1,4 miljoonaa hammaspyörää vuodessa. Sarjatuotannossa pystytään puolestaan tekemään moduuliväliä 2-6, sekä halkaisijoita välillä 20–300 mm. Eri sarjatuotantomalleja on tällä hetkellä 260 erilaista hammaspyörää ja 200 erilaista akselia.

Vaihteistoja tehdään yhdessä erillisessä kokoonpanoyksikössä. Vaihteistoja pystytään nykyään tekemään 15000 kappaletta vuodessa. Vaihteistoja menee moottorikelkkoihin, ja puimureihin. Suurimmat vaihteistoasiakkaat ovat BRP -Finland ja Sampo Rosenlew. AGCO Sisu Powerilla myös suunnitellaan omia sarjatuotannossa koottavia vaihteistoja. (Helminen, P. 2011. Yritysesittely)

3 KOKOONPANO

Tässä osiossa on keskitytty kokoonpanon kehittämiseen ja sen automatisointiin. Automatisointi aiheuttaa kokoonpanolle vaatimuksia, eikä kaikissa kokoonpanoissa voida käyttää automaatiota ollenkaan tai kokoonpano ei sovi sellaisenaan automaattiseen linjastoon. Automatiikka tuo kuitenkin mukanaan useita etuja ja siihen kannattaa siksi panostaa.

3.1 Kokoonpanon kehittäminen

Kokoonpanon kehittämisessä tärkeimpiä asioita ovat turhan työn vähentäminen ja tarpeellisen työn kehittäminen. Turhalla työllä tarkoitetaan sitä osaa työstä, jolla tuotetta ei saada jalostettua. Tarpeellinen työ on puolestaan sitä, että kokoonpano on toteutettu järkevästi ja oikeilla tavoilla.

Työmenetelmiä voidaan kehittää monella eri menetelmällä. Tällaisia ovat esimerkiksi etäisyyksien lyhentäminen, tarttumisen helpottaminen sekä suurempien liikeratojen luominen. Lisäksi voidaan miettiä voitaisiinko jokin työvaihe jättää kokonaan pois.

Tässä työssä saatiin työkiertoa parannettua vähentämällä turhien prässäyskertojen määrää. Suunnitteluosastolta saatiin vahvistus että kokoonpanon osat voidaan prässätä kaikki samalla kertaa. Tämä lyhensi huomattavasti työkiertoon kuluva-aikaa.

3.2 Kokoonpanon automatisointi

3.2.1 Automatisoinnin vaatimukset

Kun lähdetään miettimään voidaanko jotain tuotetta valmistaa automaation avulla, täytyy ensiksi miettiä soveltuuko kyseinen tuote valmistettavaksi automaation avulla. Tämän jälkeen tulee selvittää valmistukseen menevä aika ja verrata sitä mahdollisesti jo olemassa olevaan manuaaliseen valmistukseen. Työhön menevän ajan tulisi olla vähemmän tai maksimissaan hieman pidempi kuin manuaaliseen valmistukseen menevä

aika jotta se olisi kannattavaa. Automaattinen valmistus ei tarvitse ruoka- ja kahvitaukoja, mutta laskelmissa tulee ottaa huomioon mahdollisiin häiriötilanteisiin menevä aika.

Automatisointi tulee olla myös tarve. Tässä tapauksessa tarve syntyi moottoritehtaan tuotannon kasvattamisesta. Tuotantomäärät tulisivat nousemaan huomattavasti nykyiseen verrattuna.

Tuotteen elinkaaren on oltava lisäksi riittävän pitkä, jotta sen tuotanto kannattaa automatisoida. Lisäksi tehtävien määrien ja sarjojen suuruus tulee ottaa huomioon, jotta ne ovat riittävän suuria. Määrät tulee myös optimoida asetuskustannusten mukaan.

3.2.2 Automatisoinnin tuomat edut ja haitat

Kokoonpanon tuottavuutta saadaan nostettua sillä, etteivät robotit väsy eivätkö tarvitse taukoja. Robottisoluja voidaan käyttää myös osaksi miehittämättöminä ja solu voi olla käynnissä ympärivuorokautisesti. Robotti pystyy useimmissa tapauksissa tekemään työn nopeammin, kun verrataan vastaavaan työhön ihmisen kuluttamaa aikaa. Robottisolussa kokoonpanon kokonaisläpimenoaika on siis usein nopeampi kuin manuaalisessa kokoonpanossa.

Joissain tapauksissa robotti ei pysty tekemään työtä ihmistä nopeammin, mutta näissäkin tapauksissa automatisointi voi silti olla kannattava vaihtoehto. Ihmisen ei ole hyvästä tehdä yksitoikkoista ja fyysistä työtä pitkään. Erityisesti eräkokojen kasvaessa työn inhimillisyys laskee. Lisäksi jotkut osat tai työkalut voivat olla sen verran painavia että ergonomian kannalta ne olisi parempi laittaa robotin tehtäväksi. Lisäksi on syytä miettiä asiaa työturvallisuuden kannalta. Vaaralliset ja tapaturma-alttiit tehtävät on syytä jättää jonkin robotin hoidettavaksi.

Robotit kykenevät myös tasaisempaan laatuun, sillä ne suorittavat työn aina saman kaavan mukaisesti. Robotti on kuitenkin syytä varustaa hyvällä kamerajärjestelmällä, jotta se kykenisi valvomaan laatua. Tällöin välttyään siltä, ettei solussa käytetä esimerkiksi kokoonpanossa viallisia osia ja sitä kautta aiheuteta viallista kokoonpanoa.

Automatisoinnin avulla voidaan nykyisellä työntekijämäärällä saada tehtyä suurempi määrä tuotteita, sillä vain työntekijöiden toimenkuva muuttuu manuaalikokoonpanosta automaattisen järjestelmän valvontaan. Tämä lisää yrityksen kilpailukykyä. Usein myös ajatellaan automatisoinnin vähentävän työpaikkoja, mutta käytännössä asia ei aina ole niin. Esimerkiksi henkilöt jotka tällä hetkellä tekevät HP-kokoonpanoja käsin, voitaisiin vapauttaa tekemään erilaisia pienempiä eriä harvemmin tilattavia tuotteita.

4 MATERIAALIVIRTA

Seuraavassa on kerrottu layoutsuunnittelusta ja siihen liittyvästä materiaalinhallinnasta. Layoutsuunnittelussa on monta prosessia ja paljon huomioonotettavia asioita. Suunnittelun lähtökohtana ovat jo olemassa olevat asiat, sekä alati muuttuvat tehdasympäristön tarpeet. Lisäksi layoutiin liittyy läheisesti materiaalinhallinta, joka kattaa koko ketjun aina raaka-aineesta lopputuotteeksi asti. Hyvällä materiaalinhallinnalla voidaan saada aikaan merkittäviä säästöjä valmistuskustannuksissa.

4.1 Layout

Teollisuudessa layoutilla tarkoitetaan usein tehtaan prosessien sijoittelua tehdashallin pohjapiirustuksessa. Layout saattaa olla laaja koko tehtaan kattava tai se voi olla vain yhden prosessin toimintojen sijaintia kuvaava piirros. Tässä työssä on keskitytty lähinnä vain yhden prosessin layoutiin.

Suunnitteluprosessi on monivaiheinen ja useita asioita on otettava huomioon layoutia mietittäessä. Tällaisia asioita ovat laitteiden fyysiset mitat, olemassa olevien laitteiden sijainti sekä robotin jalustan korkeus. Lisäksi on huomioitava tilankäytön muut rajoitukset kuten maksimi pinta-ala ja esimerkiksi lattiakaivon sijainti. Lopuksi on tutkittava myös kokonaisvaikutelmaa materiaalivirtoineen. Tämä tarkoittaa sitä että on suunniteltava solu siten, että siihen tuleva materiaali kulkee mahdollisimman lyhyitä ja käytännöllisiä reittejä eikä uusi solu aiheuta jo olemassa oleville prosesseille ongelmia. Eri osastojen välisien matkojen tulee olla myös mahdollisimman lyhyitä ja selkeitä. Työntekijöiden työympäristö on myös pidettävä mahdollisimman hyvänä.

Tulevaisuuden mahdolliset muutostarpeet toimivat myös hyvän layoutsuunnitelman lähtökohtana. Kaikki vaikeasti siirrettävät objektit, kuten kiinteät ja raskaat laitteet tulee sijoitella siten, etteivät ne haittaa solun mahdollista jatkokehitystä. Layout on tehtävä täyttämään erilaiset standardit ja turvallisuusvaatimukset. (Aalto, Heilala, Hirvelä, Kuitvanen, Laitinen, Lehtinen, Lempiäinen, Lylynoja, Renfors, Selin, Siintoharju, Temmes, Tuovila, Veikkolainen, Vihinen & Virtanen. 1999, 102; Rantala. 2010)

4.2 Materiaalin hallinta

Materiaalin hallinnalla tarkoitetaan yrityksen raaka-aineiden, puolivalmisteiden ja lopputuotteiden hankinnan, varastoinnin ja jakelun hallintaa. Materiaalin hallinta käsittää siis yrityksen kaikki materiaalivirrat toimittajilta aina loppukäyttäjälle asti. Tutkimukset ovat osoittaneet, että iso osa tuotteen valmistuskustannuksista voidaan vähentää optimaalisella materiaalivirtojen hallinnalla. Tähän asiaan yritykset ovatkin panostaneet selvästi enemmän viimeisten vuosikymmenien aikana. (Rajala, P. 2011)

Materiaalin vaatimien kuljetuskertojen määrä tulee olla mahdollisimman pieni. Lisäksi materiaalia olisi hyvä kuljettaa mahdollisimman lyhyitä matkoja, sillä myös se lisää tuotteen valmistuskustannuksia. Hyvällä materiaalin hallinnalla voidaankin huomattavasti pienentää yrityksen varastojen kokoa. Vastaavasti tuotteiden toimitusaikaa voidaan lyhentää.

Kun mietitään tässä tapauksessa välihammaspyöräkoonpanoon liittyvää materiaalinhallintaa, täytyy miettiä mistä erilaiset kokoonpanossa tarvittavat osat tulevat. Hammaspyörillä on pitkä toimitusaika, sillä niiden valmistuksessa on monta eri työvaihetta. Toimitusaika HP:lle on neljä viikkoa olemassa olevasta materiaalista, sillä ne tulevat osavalmisteina ulkopuolisilta ja ne viimeistellään omassa tuotannossa. Hammaspyörien materiaalin hallinta tapahtuu 12 kuukauden mittaisissa jaksoissa.

Ruuvit ovat hyllytavaraa ja ulkoinen toimittaja huolehtii, että niitä on aina saatavilla. Kaikissa kokoonpanoissa on samat laakerit ja puristerenkaat. Laakerit tulevat ulkoiselta toimittajalta ja toimitusaika on kahdesta kuuteen kuukautta tilauksesta. Puristerenkaiden toimitusaika on lyhempi, se on vain 4-6 viikkoa tilauksesta. Kahden erilaisen akselin toimitusaika on puolestaan 4-8 viikkoa, vaikka niillä ei kaikilla ole sama toimittaja.

Akselit ja laakerit tilataan toimitusohjelmilla, jolloin tilauksia on aina sisällä 8-10 kuukautta eteenpäin. Muut osat tilataan tarpeen mukaan manuaalisesti. Solun toiminnan kannalta kriittisimmät osat ovat siis hammaspyörät. Niiden materiaalivirtaa on jatkuvasti seurattava ja varmistettava että kutakin erilaista hammaspyörää on riittävästi saatavilla vaikka solussa valmistettavien kokoonpanojen määrät voivat vaihdella. (Helminen, P. 2011)

5 LAITTEET

Tässä luvussa on esitelty erilaisia robottisolun laitteita lähinnä keskittyen robottiin ja siihen liittyviin oheislaitteisiin. Tutkittavat komponentit ovat robotti ja sen ranteeseen kiinnitettävä voima-ohjaus sekä robotin apuna toimiva konenäkö.

5.1 Robotti

Robotteja on ollut käytössä teollisuudessa jo useiden vuosikymmenten ajan. Teollisuusrobotti on mekaaninen kone, jonka tehtävänä on siirtää työkalun kiinnityslaippaa halutulla tavalla. Robotteja on olemassa tätä nykyä hyvin monia erilaisia tyyppejä. Yleisimmät käytössä olevat robotit ovat kiertyvänivelinen ja Scara robotti. Robottien koko voi myös vaihdella suuresti. Niitä on mikrometrin mittaisia liikkeitä tekevistä pienistä roboteista aina useita tonneja nostaviin massiivisiin robotteihin.

Robotin osia ovat alhaalta ylöspäin mentäessä jalusta, alakäsivarsi, yläkäsivarsi, ranne ja työkalulaippa. Teollisuusroboteissa vapausasteita on yleensä kuusi tai neljä. Kuusi vapausastetta mahdollistaa sen, että robotti ylittää ulottuvuusalueensa jokaiseen pisteeseen. Robotti saa voimansa useista servomootoreista, joita on yksi kussakin robotin nivelessä. Tätä nykyä käytössä ovat hiiliharjattomat vaihtovirtaservomoottorit. Solussa tulee olla tehon lähde mikä muuttaa sähkönsyötön järjestelmälle ja laitteille sopiviksi.

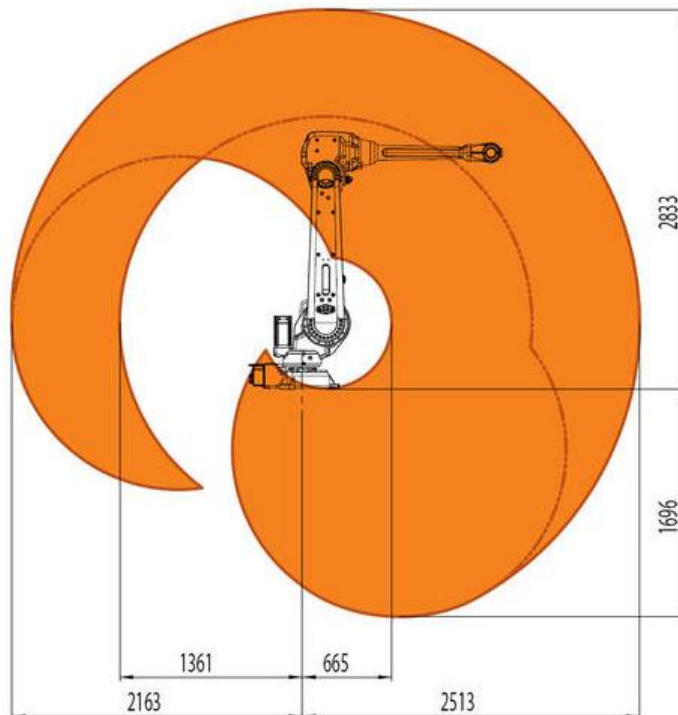
Robotit toimivat käänteisen kinematiikan perusteella, joka tarkoittaa sitä että robotti kykenee laskennallisesti muuttamaan halutun työkalun asemaa sen haluamiksi vapausasteiden paikkaohjearvoiksi. Robotin jokaisessa nivelessä on asema-anturi, joka antaa jatkuvasti tietoa nivelen asemasta ohjausjärjestelmälle. Robotin ohjaus koostuu keskusyksiköstä, massamuistista ja käsiohjaimesta. Lisäksi järjestelmässä tulee olla liitännät ulkoisia tietokoneita ja laitteita varten. (Robotiikka. 1999, 12–22)

Tässä työssä suunniteltuun soluun on valittu ABB:n 4600-sarjan robotti. Sen ulkonäkö on esitelty kuviossa 4 ja mitat sekä ulottuma kuviossa 5. Kyseisen mallin ulottuvuuden on ilmoitettu teknisissä tiedoissa olevan 2,05 metriä ja sen pystyvän nostamaan jopa 60 kiloa. Kyseiseen malliin on päädytty, koska se on uusi ja sen liikkeet ovat laaja-alaiset.

ABB:n roboteista on myös tehtaalla aikaisempia positiivisia kokemuksia. Lisäksi kilpaillevan valmistajan Fanucin tarjoamasta voimaohjauksesta ei ole ennestään käyttökokemuksia.



KUVIO 4. ABB IRB 4600 robotti (ABB- Internet sivut, 2011)



KUVIO 5. ABB robotin ulottuma (ABB- Internet sivut, 2011)

5.2 Konenäkö

Konenäöllä tarkoitetaan koneelle luotua kykyä nähdä objekteja. Teollisuuden näköjärjestelmällä puolestaan tarkoitetaan järjestelmää, joka kuvallisen tiedon perusteella suorittaa koneen tai prosessin ohjaustehtäviä tai laadunvalvontaa. Kamera koostuu CCD-kennosta, joka mittaa kappaleesta lähtevää valoa. Tyypillisiä konenäön komponentteja ovat yksi tai useampi kamera, hyvä valaistus sekä tietokone ja kuvankäsittelyalgoritmit. Automaattisesti toimivissa järjestelmissä kiinnitetään erityistä huomiota nopeuteen, tarkkuuteen ja toimintavakauteen. Konenäköä tarvitaan robottisolussa kun tavalliset anturoinnit eivät enää riitä tunnistamaan kappaletta.

Näköjärjestelmä on hyvä olla robottisolussa, sillä se mahdollistaa kappaleen haun epätarkasta paikasta. Lisäksi huonot komponentit voidaan hylätä ja lopuksi tarkastaa asennuksen onnistuminen. Tulokset voidaan sen jälkeen arkistoida. Järjestelmissä on usein käytössä harmaasävykamera, koska harmaasävyjä on 256 eli yksi kuvapikseli on kuvattu kahdeksalla bitillä. Informaation määrä on pidettävä mahdollisimman pienenä, jotta tieto saataisiin kulkemaan robotille mahdollisimman nopeasti.

Kameran optiikka määrää saatavan kuvan laadun. Esimerkiksi optiikan vääristymät aiheuttavat kuvaan vastaavan virheen. Kameran objektin säätöjen on oltava kohteeseen sopivat. Tällaisia säätöjä ovat muun muassa tarkennusetäisyys ja kuvausaukon koko. Asetusten on oltava muuttumattomia, sillä muutoksen tapahtuessa järjestelmä on kalibroitava uudelleen.

Konenäköjärjestelmien yleisimpiä käyttökohteita ovat muun muassa erilaiset laadunvarmistustehtävät. Konenäöllä voidaan tässä tapauksessa suorittaa esimerkiksi koon ja muodon mittausta, osien paikallaolon tarkastusta tai osien laskentaa. Toinen yleinen käyttösovellus on erilaiset tunnistustehtävät. KN:llä voidaan lukea viivakoodeja ja tunnistaa jopa kasvoja. Suunnittelemani solussa näköä käytettäisiin erilaisiin paikoitus-tehtäviin. KN:llä selvitetäisiin osien paikka Kardex lavalla ja missä asennossa ne olisivat. Lisäksi kuvattaisiin ja tunnistettaisiin laakerien eri puolet.

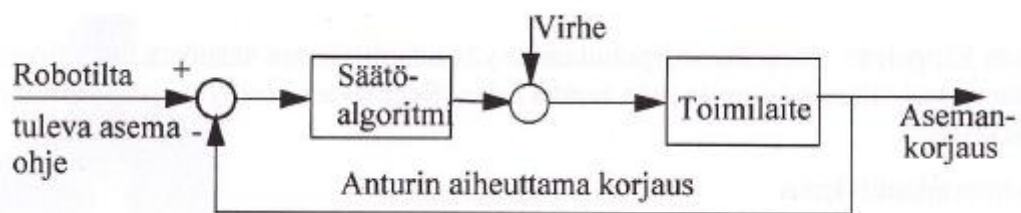
Tällä hetkellä KN:jen haasteina ovat muun muassa tuotteiden erilaiset väri variaatiot, yksilölliset kuvioinnit ja aina vain lyhenevät tahtiajat. Myös tehdasolosuhteissa yleisenä ongelmana on lika ja pöly.

Konenäöt kehittyvät vuosi vuodelta paremmiksi. Tällä hetkellä ollaan menossa kohti älykäästä valaistuksen ja valituksen ohjausta. Tämän lisäksi kehityksessä on keskitytty älykkäisiin segmentointimenetelmiin ja tehokkaampiin tunnistusmenetelmiin. (Uusitalo, J. 2005)

Suunniteltuun soluun on valittu rengasvalollinen Iris GT1900 konenäköjärjestelmä. Järjestelmään on päädytty sen hyvän hinta-laatu suhteen vuoksi. Lisäksi kyseinen malli on riittävä tunnistamaan laakerien eri puolet ja tarvittaessa myös hammaspyörän ajoitusmerkin.

5.3 Force control

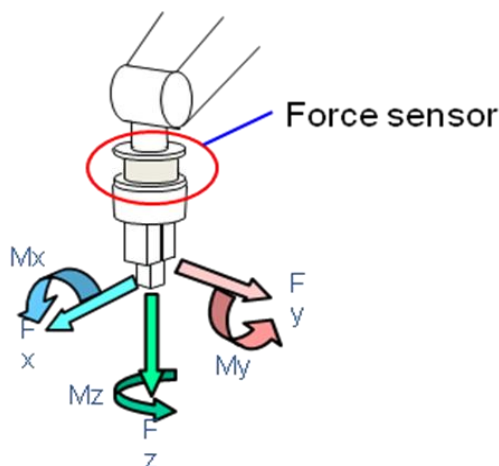
Voimasäätöjä on olemassa sekä passiivisella että aktiivisella adaptiivisuudella. Passiivinen adaptiivisuus tarkoittaa kokoonpanon yhteydessä tilannetta, jossa kokoonpantavan osan tai kohteen välisiä voimia hyödyntämällä tapahtuma saadaan toteutettua. Tämä perustuu siihen, että tarraimen jotain vapausastetta vapautetaan sen verran, että kokoonpano voidaan toteuttaa. Osien täytyy tällöin olla siten muotoiltuja, että kokoonpanosta kappaleen käsittelylaitteelle välittyvät voimat kääntävät osan oikeaan asentoon. Aktiivinen adaptiivisuus puolestaan perustuu takaisinkytkettyyn säätöön ja tarvittava sijoituspaikka voidaan mitata voima- tai asema-antureilla. Säätökaavio on esitetty tarkemmin alla olevassa kuviossa 6.



Kuvio 6. Voimaohjauksen säätökaavio (Lempiäinen & Savolainen 2003, 142)

Voimaohjauksella voidaan havaita sekä voimat että vääntömomentit samanaikaisesti. Nämä toiminnot ja voimaohjauksen sijainti robotissa on havainnollistettu kuviossa 7. Ohjauksella voidaan esimerkiksi laittaa toinen kappale toisen sisään, vaikka kappaleiden väliset toleranssit olisivat vain joitain mikrometrejä. Robotti on ohjelmoitu yrittämään toimenpidettä uudelleen ja esimerkiksi siirtämään osaa hieman, jotta se saataisiin paikalleen. Voimaohjauksella voidaan toteuttaa toimintoja, joita ei voida tehdä tavallisella asennon säädöllä tai pehmeällä kelluntatoiminnolla. Ohjausta käytetään usein hammaspyöräkokoontyökaluissa ja hiontasovelluksissa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 139–142)

Linnavuoren tehtaalla voimaohjausta käytetään tällä hetkellä moottorikokoontyökaluissa nokka-akselin paikalleen laittamiseksi. Ilman voimaohjaus toimintaa akselin laittaminen robotin avulla paikalleen olisi käytännössä mahdotonta, sillä akseli menee paikalleen vain tietyssä kulmassa eikä sitä saa pakottaa materiaalivaurioiden välttämiseksi.



KUVIO 7. Voimaohjaus (Laitinen 2010)

6 KOKOONPANOJÄRJESTELYT

Tässä osiossa on käyty läpi robottisolun suunnitteluprosessin eri vaiheita. Lähtötilanteen määrittelyn kautta lähdetään miettimään ensin mahdollisuutta automaattiseen kokoonpanoon ja sen kannattavuutta. Se jälkeen siirrytään tavoitteisiin ja robotin työkiertoon sekä lopuksi kerrotaan suunnittelun aikana ilmenneistä ongelmakohdista.

6.1 Lähtötilanne

AGCO Sisu Powerin oman tuotannon uskotaan kasvavan tulevaisuudessa, mikä luo tarpeen kasvattaa HP-tuotantoa. Moottoreissa käytetään hammaspyöräosaston tuotteita jakopäissä. Omaan moottorituotantoon menevien välihammaspyörien tarve on tällä hetkellä 40 000 kappaletta vuodessa. Määrä perustuu siihen, että vuonna 2011 tehtyjen moottorien määrä on 30 000 ja yhteen moottoriin menee tyypistä riippuen yhdestä kolmeen välihammaspyörää.

Tällä hetkellä HP-kokoonpanoja on tekemässä yhdessä vuorossa kolme ihmistä. Kokoonpanoalueella on kaksi työpistettä. Toisessa voidaan tehdä prässillä erilaisia välihammaspyöriä ja toisessa vain yhtä tietynlaista HP-kokoonpanoa. Kokoonpano tapahtuu täysin manuaalisesti ja se saattaa olla todella yksitoikkoista jos sarjakoot ovat isoja. Lisäksi tuotanto määrien ennustetaan nousevan muutaman vuoden sisällä 45 000 moottorin vuositasolle. Tämä aiheuttaisi uusien työntekijöiden palkkaustarpeen, jotta kasvavat tuotanto tarpeet kyettäisiin kattamaan.

6.2 Hammaspyöräkokoonpano

Hammaspyöräosaston työntekijöiden mukaan tämänhetkiset välihammaspyöräkokoonpanot tehdään myöhemmin mainittujen luetteloiden mukaisesti. Luetteloissa on esitelty kahden erilaisen manuaalisen kokoonpanon työvaiheet alusta loppuun.

Välihammaspyörien kokoonpano 1:

1. Keskiakseli öljytään
2. Pohjalevyyn missä on valmiiksi ohjurit, asetetaan akseli
3. Hammaspyörä asetetaan akselin päälle (uppoaa paikalleen käsin)
4. Hammaspyörän ja akselin päälle asetetaan laippa
5. Laitetaan 1 kuusiokolopultti
6. Laitetaan 2 ruuvia (kummatkin erikokoisia) keskiössä oleviin reikiin (huom. ei kiristetä)

Välihammaspyörien kokoonpano 2:

1. Laakerit laitetaan kummatkin hammaspyörän päälle (huom. suunta: toinen toisinpäin ja toinen toisinpäin)
2. Prässätään laakerit hammaspyörän sisään
3. Asetetaan puristerengas hammaspyörän päälle ja laitetaan 1 ruuvi ohjuriksi niin, että reiät menevät kohdakkoin levyssä ja hammaspyörässä
4. Prässätään puristerengas hammaspyörään
5. Laitetaan loput kolme pulttia paikalleen ja kiristetään momenttiin (32 Nm)
6. Nostetaan hammaspyörä keskiakselin päälle
7. Prässätään hammaspyörä akseliin

Kokoonpanossa 2 on huomioitava se, että tällä samalla menetelmällä tehdään useita erilaisia kokoonpanoja. Hammaspyöriä on neljää erilaista ja akseleita on tällä hetkellä (kesällä 2011) kolme erilaista kokoa ja myös näiden osien ulkomuoto hieman vaihtelee. Alla olevissa kuvioissa 8 ja 9 on esitelty kokoonpanon numero 2 yhden variaation kokoonpanoon kuuluvat osat ja valmis kokoonpano. Edellä mainittujen lisäksi on olemassa kaksoishammaspyöriä, joissa kaikissa on sama akseli ja kolme erilaista hammaspyörä mallia. HP:t ovat ulkohalkaisijaltaan hieman pienempiä kuin välihammaspyörät.



KUVIO 8. Välihammaspyöräkoonpanon osat (Kuva: Emmi Ruotsalainen 2011)



KUVIO 9. Valmis välihammaspyöräkoonpano (Kuva: Emmi Ruotsalainen 2011)

6.3 Kokoonpanosolun esiselvitykset

6.3.1 Mahdollisuus automaattiseen kokoonpanoon

Lähdettäessä suunnittelemaan automaattista kokoonpanoa, tulee selvittää soveltuuko suunniteltu tuote automaattisesti kokoonpantavaksi. Tätä asiaa on hyvä Lempiäisen ja Savolaisen mukaan pohtia seuraavan tarkistuslistan avulla:

1. Tulevatko osat orientoituna vai ei?
2. Miten osat tuodaan kokoonpanoon?
3. Mahdollisten tukkeumien välttäminen syöttölaitteissa
4. Viallisten osien aiheuttama haitta ja poisto
5. Tarvitaanko ohjureita?
6. Työkaluille oltava riittävä tila
7. Millaista voimaa tarvitaan osien paikalleen saamiseen?
8. Täytyykö osaa tukea kiinnityksen aikana?

Välihammaspyöräkokoonpanon isoimmat osat tulevat orientoituna lavoilla ja pienempien osien syöttö on ratkaistu esimerkiksi tärymaljan avulla. Osien orientaatio ja viallisten osien havaitseminen voidaan toteuttaa konenäön avulla.

Ohjureita todettiin HP-kokoonpanossa tarvittavan vain prässäysvaiheessa osien mahdollisen siirtymisen takia. Prässäyksessä ja ruuvin kiristysvaiheessa tarpeelliseksi nähtiin osien tukeminen työvaiheen aikana. Muutoin kokoonpano olisi saattanut liikahtaa ja ruuvien kiristäminen oikeaan momenttiin olisi ollut mahdotonta ilman kokoonpanon paikallaan pitämistä.

Työkalujen riittävä tila ei ollut tässä selvityksessä ongelma, sillä kaikki osat pystyttiin asettamaan paikoilleen päältäpäin. Myöskään osien paikalleen laittamiseen tarvittavaa voimaa ei tarvinnut miettiä, sillä se oli jo tiedossa manuaalisen kokoonpanon kautta.

6.3.2 Kannattavuus

Robottisolun rakentaminen on kannattavaa, jos sen takaisinmaksuaika on enintään 2-2,5 vuotta. Takaisinmaksuaika tarkoittaa aikaa, jonka kuluessa hankkeesta saadut tulot ovat yhtä suuret kuin hankkeeseen käytetty perusinvestointi. Työhön liittyvät takaisinmaksu- ja kannattavuuslaskelmat on esitetty tarkemmin luvussa seitsemän.

Kannattavuutta voidaan mitata myös muilla kuin rahallisilla mittareilla. Tällaisia ovat esimerkiksi laadun paraneminen ja tuotantomäärien kasvu. Myös työntuotto prosentti kasvaa, sillä automaattisessa kokoonpanossa yksi työntekijä pystyy tuottamaan moninkertaisen määrän tuotteita manuaaliseen kokoonpanoon nähden.

Lisäksi kannattavuutta voidaan miettiä työhyvinvoinnin ja työssäjaksamisen kannalta. Työn yksitoikkoisuus vähenee ja työ muuttuu fyysisesti vähemmän raskaaksi. Nämä seikat saavat työntekijän jaksamaan paremmin töissä niin henkisesti kuin fyysisestikin.

6.4 Kokoonpanosolun määrittäminen

Esiselvitysten avulla voitiin määrittellä välihammaspyörien uusi kokoonpano robotisolussa. Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle budjetista ja käytössä olevasta tilasta. Robottisolun tuli voida sijoittaa nykyiselle kokoonpanoalueelle ja silti jättää tilaa olemassa oleville manuaalisille työpisteille. Tästä muodostui pinta-ala-arvio että solun tuli mahtua 50 m² kokoiselle alueelle. Budjetti investointeja varten oli 200 000 euroa.

Solussa tuli pystyä kokoonpanemaan noin 300 nimikettä päivässä, jotta se pystyisi hyvin täyttämään tulevat tilausmäärät. Määrä perustuu valmistuspäällikkö Pekka Helmisen esittämään arvioon lähitulevaisuuden välihammaspyörätarpeesta. Solun täytyisi olla myös FMS:n ja JOT:n mukainen. JOT:n mukainen automatisointi mahdollistaisi kunkin nimikkeen päivätarpeen valmistamisen kerralla, jonka jälkeen siirryttäisiin kokoonpanemaan muita kokoonpanoja.

Alla on listattu vaiheittain uudet työkierron robottisolussa:

Välihammaspyörien kokoonpano 1:

1. Haetaan kaksoistarttujalla akseli
2. Viedään osat kokoonpanoalustalle päällekkäin
3. Vaihdetaan ruuvinväännin
4. Haetaan kansi Kardexista kokoonpanoalustalle
5. Haetaan ruuvit kokoonpanoalustalle tärymaljasta
6. Ruuvataan kiinni
7. Vaihdetaan kaksoistarttuja
8. Viedään valmis kokoonpano Kardexiin

Välihammaspyörien kokoonpano 2:

Kardexissa on kamera, joka kuvaa osien paikan ja orientaation sekä valmiit tuotteet

1. Haetaan kaksoistarttujalla akseli ja laakerit Kardexista
2. Viedään osat robotilla voitelun kautta prässiin (akseli ensin ja sitten LK:t päälle)
3. Haetaan kaksoistarttujalla hammaspyörä ja puristerengas prässiin
4. Prässi painaa osat yhteen ja samalla robotti vaihtaa ruuvinvääntimen
5. Robotti hakee tärymaljasta pultit ja asettaa ne reikiin
6. Ruuvit kiristetään ruuvinvääntimellä
7. Robotti vaihtaa kaksoistarttujan
8. Viedään valmis kokoonpano takaisin Kardexiin
9. Tarvittaessa välipahvitarttujan vaihto
10. Tarvittaessa välipahvi Kardexiin
11. Tarvittaessa vaihto takaisin kaksoistarttujaan

Harmaalla merkatut kohdat 9-11 ovat työkierron vaiheita, jotka toteutetaan vain silloin kun yksi kerros valmiita välihammaspyöriä on tullut täyteen lavalla. Ennen uuden kerroksen aloittamista täytyy ensimmäisen kerroksen päälle asettaa välipahvi, jotta uusi kerros ei mene suoraan valmiiden päälle.

Työkierron ja budjetin pohjalta lähdettiin tekemään komponentti valintoja. Valintoihin vaikuttivat suurelta osin jo tehtaassa käytössä olevat laitteet ja valmistajat. Joitakin komponentteja varten on pyydetty uusi tarjous ja joidenkin hinnat perustuvat arvioon. Valitut komponentit on eritelty tarkemmin liitteessä 2.

Komponenttien toimittajat valittiin pääasiassa tehtaalla aiemmin käytettyjen toimittajien joukosta. Toimittajat olivat hyviksi havaittuja ja heihin oli hyvä asiakassuhde. Iso osa pienemmistä komponenteista tuli Atlas Copcolta. Isommat tulivat puolestaan esimerkiksi ABB:ltä.

6.5 Kokoonpanosolun ongelmakohdat

6.5.1 Komponenttien valinta

Automaatio komponenttien tarjonta on tänä päivänä todella runsas. Tarjonnasta on vaikea lähteä miettimään juuri niitä oikeita komponentteja, jotka ovat hinnaltaan ja ulkomuodoltaan tarvittavaan tehtävään juuri sopivat. Joidenkin komponenttien kohdalla valinta sujui kuitenkin helposti, sillä solussa haluttiin käyttää tehtaalla muissa soluissa käytettyjä valmistajia ja tiettyjä malleja.

Haastavimpina solun komponentteina valinnan kannalta olivat sopivat tarttujat ja prässi, josta kerrotaan seuraavassa kohdassa tarkemmin. Tehtaassa oli käytössä joitakin vastavien osien tartuntaan sopivia tarttujia, mutta ei yhtään koko valmiin välihammaspyöräkokoonpanoon soveltuvaa tarttujaa. Työkiertoon menevän ajan lyhentämiseksi tuli miettiä kaksoistarttujan mahdollisuutta. Parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui akseli- ja laakeritarttujan yhdistäminen kaksoistarttujaksi. Tarttujassa käytettiin jo käytössä olevia kynsiä, mutta tarttujarungon suunnittelin itse, jotta etäisyydet olisivat juuri oikeat. Valmiin kokoonpanon tarttujaa en tässä opinnäytetyössä lähtenyt suunnittelemaan, jottei työn sisältö kasvaisi liian suureksi.

Komponenttivalinnassa oli myös vaikeaa pohtia osien erilaisia syöttötapoja. Ne on syytä suunnitella ja miettiä tarkasti, sillä ne ovat hyvin tärkeässä roolissa automaation luotettavan toiminnan kannalta. Syöttöjärjestelyjen osalta kappaleet jaetaan kolmeen kategoriaan. Ensimmäinen kategoria on pienosat, jotka syötetään automaattisilla syöttölaitteilla. Pienosia voidaan syöttää esimerkiksi erilaisilla tärymaljoilla, mutta pienosien kanssa

tule olla tarkkana hakautumisen kanssa. Pienet osat saattavat helposti jäädä kiinni toisiinsa. Tärymaljoissa on myös ongelmana mahdollinen osien kiipeäminen.

Toinen kategoria on konstruktion piirustukselliset osat, joita ei voida syöttää automaattisesti. Näiden keskikokoisten osien syöttö on hoidettu usein laatikoilla tai pinoilla. Pinoa käytettäessä tulee osan geometria olla sellainen, etteivät osat pääse takertumaan toisiinsa.

Kolmas ja viimeinen kategoria on suuret piirustukselliset osat, jotka tyypillisesti eivät sovellu laatikoitaviksi. Näiden suurten osien syöttö tapahtuu erilaisilta lavoilta kuten esimerkiksi eurolavalta. (Lempiäinen & Savolainen. 2003. 121-137)

6.5.2 Osien prässäys samanaikaisesti

Jo haastattelujen alkuvaiheessa tuli ilmi kysymys mahdollisesta osien samaan aikaan tapahtuvasta prässämisestä. Asia varmistettiin AGCO:n suunnitteluosastolta ja heidän mukaansa ei ole olemassa mitään suunnittelullista estettä osien samanaikaiselle yhteen puristamiselle. Samanaikainen prässäys ei kuitenkaan tapahdu suoraan ilman ongelmia. Prässiin tuli suunnitella muutama erikoiskomponentti tämän toiminnon mahdollistamiseksi. Suunnittelussa käytettiin hyväksi tehtaalla jo olemassa olevia ratkaisuja ja Custom Automationin Tommi Piittalan tietoutta.

Prässiin päätettiin laittaa sylinteri pitämään osia paikoillaan. Lisäksi tarvittiin ohjurit laitteen puristustyökaluun, jottei puristerenkaan asema pääse muuttumaan prässäyksen aikana. Mahdollinen asennon muuttuminen olisi vaikeuttanut pulttien paikalleen asettamista tai estänyt sen jopa kokonaan.

Ratkaisun toimivuus voidaan varmaksi todeta vasta käytännön kokeilla. Prässin suunnittelun haasteena ovat myös erilaisten hammaspyörien ulkohalkaisijat. Sylinteri täytyy mitoittaa siten, että se on jokaiselle halkaisijalle sopiva. Lisäksi täytyi pitää mielessä se, että solusta haluttiin mahdollisimman muuntautumiskykyinen.

6.5.3 Layout suunnittelu

Layout suunnittelu on tehty ABB:n RobotStudio – ohjelmalla. Samalla voitiin simuloida työkiertoa ja testata sen avulla erilaisia vaihtoehtoja. Yksi mahdollinen layoutsuunnitelma on esitetty liitteessä 1.

Solun eri toimintojen ja komponenttien sijoittelu oli haastavaa. Osa komponenteista oli kookkaita ja loput toiminnot tuli sijoittaa niiden mukaan. Komponenttien suuri koko aiheutti myös sen, että robotti tuli sijoittaa jalustan päälle. Muuten robotti ei olisi yltänyt joka puolelle. Jalustan korkeudeksi tuli noin 50 senttiä. Lisäksi oli huomioitava, ettei robotti yllä taakseen, sillä se ei voi pyöriä 360 astetta itsensä ympäri.

Toiminnot sijoitettiin solussa ympyrän kehälle robotin ulottuman takia. Kuitenkin toimintojen järjestys kaarella aiheutti paljon miettimistä. Komponenttien järjestykseen vaikutti oleellisesti kokoonpanojärjestys. Robotin kaikki liikkeet tuli lisäksi pitää mahdollisimman lyhyinä ja esteettöminä.

E erityisesti työkalun vaihtopisteen paikka oli haastava, sillä se tuli sijoittaa mahdollisimman lähelle Kardexia ja prässä. Kuitenkaan paras mahdollinen paikka sille ei ollut näiden toimintojen välissä, sillä se olisi pidentänyt matkaa automaattihyllystöltä prässille.

Valmiissa layoutkuvassa (liite 1) on merkitty punaisella neliöllä paikka, johon mahdolliset eurolavat voitaisiin sijoittaa. Tälle alueelle on myös mahdollista sijoittaa HP-kokoonpanossa 2 tarvittava kokoonpanopöytä. Kuvaan on lisäksi merkitty robotin ulottuvuusalue ympyrän muodossa.

6.5.4 Työkierto

Työkierron suunnittelussa haastavinta oli valmiiden välihammaspyörien sijoittelu. Suunnitelmassa onkin päädytty kahteen eri vaihtoehtoon. Ensimmäinen on työkierron esittely kohdassa käyttämäni tapa viedä valmiit kokoonpanot takaisin Kardexiin. Tässä vaihtoehdossa on hyvää se, että valmiita kokoonpanoja mahtuu runsaasti Kardexiin eikä

työntekijän tarvitse useasti hakea valmiita lavoja pois solusta. Huono puoli taas on se, että välihammaspyörät eivät ole automaattihyllystössä valmiilla lavoilla, jotka voisi suoraan kuljettaa esimerkiksi moottorituotantoon. Valmiit tuotteet täytyy siis solun käyttäjän nostella hyllyjärjestelmästä eurolavoille.

Toinen mahdollisuus on laittaa valmiit välihammaspyörät suoraan valmiille lavoille. Tämän tapauksen huono puoli on se, että solun viemä tila kasvaa sillä lavoja voidaan sijoittaa vain yhteen tasoon. Lavoja ei voi myöskään laittaa kovin montaa, mikä aiheuttaa solun käyttäjälle useampia tyhjennyskertoja. Lavat voisi kuitenkin sitten sellaisenaan viedä joko hyllyyn tai tuotantoon.

7 LASKELMAT

Hankkeen kannattavuus voidaan laskea kun kaikki tarvittavat selvitykset, suunnittelut ja valinnat on suoritettu. Tässä luvussa esitetään projektin kannattavuus lukuina. Ensin käydään läpi manuaalisen kokoonpanon tämänhetkisiä lukuja ja sen jälkeen niitä vertaillaan uuden automaattisen kokoonpanon lukuihin. Esiteltäviä suureita ovat aika ja hinta. Vertailemalla uutta ja vanhaa saadaan selville projektin kannattavuus.

7.1 Manuaalinen kokoonpano lukuina

Kokoonpanon kustannukset koostuvat työntekijöiden palkasta. Vuositasolla kahden työntekijään kuluvat kustannukset ovat 100 000€. Budjetti muodostui siitä että robotisolun oli maksettava itsensä takaisin kahdessa vuodessa. Laskettiin kuinka paljon maksaa pitää kaksi työntekijää kaksi vuotta tekemässä manuaalista HP-kokoonpanoa. Budjetiksi tuli täten 200 000€.

Ensimmäistä kokoonpanoa tehdään useaa kappaletta samanaikaisesti kokoonpanoalustalla. Alusta on metallilevy, jossa on akselin pultinreikiin meneviä tappeja. Tappien avulla osat pysyvät paikoillaan kokoonpanon ajan. Kokoonpanoon 1 kuluma aika on tällä hetkellä 30 sekuntia. Yksi työntekijä pystyy tekemään tämän hetkisen oman tuotannon päivätarpeen 150 kappaletta (HP 2) viidessä tunnissa. Tästä saadaan yhden HP – kokoonpanon valmistusajaksi kaksi minuuttia.

7.2 Automaattinen kokoonpano lukuina

Kokoonpanon automatisointiin tarvittavat investoinnit tulisivat laskelmien mukaan olemaan yhteensä 211 000 euroa. Robottisolun suuntaa-antavat kustannukset on eritelty taulukossa 1. Osa hinnoista on neuvottelemattomia, joten ne saattavat olla todellista kustannusta suuremmat. Joihin komponentteihin on pyydetty tarjous ja loput perustuvat parhaaseen mahdolliseen arvioon. Hintoja ei ole myöskään kilpailutettu, joten halvemmän toimittajan löytäminen on mahdollista.

TAULUKKO 1. Robottisolun kustannukset

Komponentti	Hinta (€)
Robotti voimaohjauksella	60000
Pyörivä liitin	5000
Kappaletarttijat	3300
Välipahvitarttuja	2000
Ruuvinväännin	8000
Ohjausboksi	900
Konenäkö	4000
Prässi	29500
Varastoautomaatti	45000
Kaksoistärymalja	20000
Sumuvoitelija	3000
Turvahäkki	2000
Valoverho	2000
Pneumatiikka	4000
Sähköistys	2000
Käyttöönotto	20000
YHTEENSÄ	211000

Työkierto simuloitiin ABB:n RobotStudio – ohjelmalla. Tällöin oli mahdollista saada realistinen työkiertoon menevä aika. Ohjelmasta saatiin robotin työkiertoon meneväksi ajaksi kokoonpanossa 1 29 sekuntia eli yhden sekunnin vähemmän kuin manuaalisessa kokoonpanossa.

Puolestaan kokoonpanoon 2 meni 2500 siirtymänopeudella 2 minuuttia 20 sekuntia, mikä puolestaan on 20 sekuntia enemmän kuin manuaalisessa kokoonpanossa. Robotti ei kuitenkaan pidä taukoja, joten kokoonpanoon menee suurin piirtein sama aika kuin manuaalisesti.

7.3 Lukujen vertailua

Automaattinen kokoonpano työllistäisi yhden ihmisen. Hänen työtehtäviinsä kuuluisivat solun käyttäminen ja manuaalisten sarjojen teko. Robottiyksikkö ei tässä tapauksessa toimisi täydellä kapasiteetilla. Tällöin pystyttäisiin vastamaan myös suurempiin tuotantotarpeisiin, jotka voidaan määritellä tarkemmin vuoden 2015 jälkeen.

Jos jatkettaisiin HP-kokoonpanojen tekoa tämänhetkisellä tavalla, jouduttaisiin palkkaamaan kaksi kokoaikaista työntekijää lisää. Tällöin jouduttaisiin työskentelemään kahdessa vuorossa, jotta kokoonpanopaikkoja ei tarvitsisi lisätä ja kuluttaa niihin investointeja. Kahden työntekijän palkkakustannukset olisivat vuodessa 100 000 euroa. Jos ei siirryttäisi kahteen vuoroon, myös tilaa tarvittaisiin arviolta 50 m² lisää. Lisätilan rakentaminen maksaisi arvoilta 1000 €/m².

Tällä hetkellä välihammaspyöriä tehdään oman tuotannon moottoreita varten 39 000 kappaletta. Yhdessä moottorissa on keskiarvallisesti 1,3 välihammaspyörää riippuen moottorityypistä. Solun teoreettinen kapasiteetti on 24 tunnin toiminta viitenä päivänä viikossa ympäri vuoden lukuun ottamatta mahdollisia huoltokatkoja.

Yksinkertaisesti investoinnin takaisinmaksuaika voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\textit{Takaisinmaksuaika} (v) = \frac{\textit{Hankintahinta} (\textit{€})}{\textit{Nettotuotto} (\textit{€}/v)}$$

$$\textit{Takaisinmaksuaika} (v) = \frac{210000\textit{€}}{100000\textit{€}/v} = 2,1 \textit{ vuotta}$$

Kaava ei kuitenkaan ota korkoa huomioon. Investoinnille on siksi laskettava jokaiselle koron vuosituotolle halutun koron mukainen nykyarvo. Taulukossa 2 on laskettu takaisinmaksuaika ottaen huomioon koron vaikutus diskonttaustekijän avulla. Tekijän määrä perustuu arvioon.

TAULUKKO 2. Takaisinmaksuajan laskenta

Aika	Investointi	Nettotuotto	Diskonnttaustekijä	Nykyarvo	Yhteensä
0	-210000				-210000
1		100000	0,9091	90910	
2		100000	0,8264	82640	
3		100000	0,7513	75130	248680
					38680

Laskentataulukosta saadaan selville että takaisinmaksuaika korko huomioonotettuna on alle kolme vuotta, sillä kolmannen vuoden jälkeen investointi on jo tuottanut lähes 40 000 euroa. Tästä nähdään että suunniteltu solu täyttää sille asetetun takaisinmaksuajan.

Kun vertaillaan manuaalisen ja automaattisen kokoonpanon aikoja sekä tuotantokapasiteettia, voidaan todeta HP-kokoonpanojen automatisoinnin olevan kannattavaa. Samaa päätelmä puoltavat myös tässä kappaleessa esitetyt kustannuslaskelmat. Investoinnin kannattavuutta voidaan vielä lisätä solun jatkokehityksen avulla.

8 KOKOONPANOSOLUN JATKOKEHITYS

Opinnäytetyön laajuudesta johtuen tässä työssä ei ole voitu suunnitella kaikkia automaattiseen kokoonpanoon liittyviä seikkoja aivan valmiiksi asti. Työssä on sen sijaan kartoitettu lähinnä yleisellä tasolla automaattisen kokoonpanon mahdollisuutta. Lisäksi on suunniteltu alustava layout ja komponenttivalinnat. Myös robotin työkierrolle on mietitty lähinnä vain yksi mahdollisuus eikä suinkaan haettu sitä parasta mahdollista. Tässä luvussa onkin kerrottu muutamia parannus ja suunnitteluehdotuksia robottisolun jatkojalostusta varten.

Valmiiden kokoonpanojen sijoitusta kannattaisi suunnitella lisää. Työssä esitettyssä ratkaisussa valmiit kokoonpanot viedään robotilla takaisin automaattiseen hyllyjärjestelmään. Tämän tekniikan hyvä puoli on se, että valmiita kokoonpanoja voidaan sijoittaa hyllystään todella runsaasti. Lisäksi robotin ei tarvitse käydä enää muualla viemässä valmiita välihammaspyöriä, vaan aikaa säästävasti robotti vie ne sinne mistä se hakee osat. Huono puoli on puolestaan se, että automaattihyllystön lavat eivät ole sellaisenaan valmiita vietäväksi esimerkiksi oman tuotannon käyttöön. Valmiit kokoonpanot tulee solun käyttäjän toimesta käsin asetella esimerkiksi eurolavoille. Tämä on aikaa vievää puuhaa, vaikka sitä ei kovin monta kertaa päivässä tarvitsekaan tehdä.

Materiaalinhallinnan osalta paranneltavaa voisi olla esimerkiksi se, että omassa tuotannossa valmistetut hammaspyörät tuotaisiin soluun valmiilla alustoilla. Tällöin niitä ei tarvitsisi siirrellä lavalta toiselle. Myös toimittajien kanssa voisi keskustella millaisilla alustoilla he tavaraa lähettävät, jotta nämäkin tuotteet saataisiin solun käyttöön ilman ylimääräistä siirtelyä.

Hyvä vaihtoehto välihammaspyörien sijoittamiselle voisi olla vieminen suoraan eurolavoille. Tämä kuitenkin vaatisi lisäinvestoinnin, sillä valitun robotin ulottuvuus ei riitä yltämään kuin korkeintaan kahdelle vierekkäin olevalle lavalle. Tästä syystä lavoja joutuisi vaihtamaan usein, jos solussa tehtäisiin montaa eri kokoonpanoa pieniä määriä. Tässä tapauksessa tarvittaisiin kisko, jonka päällä robotti kykenisi liikkumaan ja sitä kautta ulottumaan useammalle lavalle. Täydet lavat olisivat kuitenkin täytön jälkeen valmiita vietäväksi seuraavaan sijoituskohteeseensa.

Tarttujen suunnittelua täytyisi myös viedä pidemmälle. Työssä mainittuja tarttuvia ei ole suunniteltu kovin tarkasti. Tarttujen mitat tulisi määrittää siten että niissä olisi hie-
man varaa esimerkiksi akselin halkaisijan muutoksille. Myös kaksoistarttujan runko
vaatisi lisäsuunnittelua, sillä kolmiomalli ei välttämättä ole paras mahdollinen vaihtoehto.

Edellä mainittujen lisäksi valmiin kokoonpanon tarttuja on kokonaan suunnittelematta,
sillä sitä ei voi tarttua enää hammaspyörän sisäkehältä. Työssä on nimittäin käytetty
akselitarttujaa myös valmiin kokoonpanon tarttumiseen sivusta päin. Kokoonpano on
kuitenkin sen verran painava, eikä hammaspyörää voi kovin lujaa puristaa, joten tämä
malli ei ole paras mahdollinen ratkaisu.

Layoutia kannattaisi miettiä tarkemmin tehtaan muiden toimintojen kannalta. Työn
layoutissa on keskitytty lähinnä solun sisäiseen järjestykseen, ei niinkään sen soveltu-
vuutta ympäristöön. Solun eri toiminnot on sijoitettu työssä esitetyn työkierron pohjalta,
mutta jos siihen keksitään toinen ratkaisu, kannattaisi tarkistaa layoutkin uudestaan.

Käyttäjäturvallisuutta voitaisiin parantaa ottamalla käyttöön ylempi ohjausjärjestelmä.
Tämä mahdollistaisi sujuvan JOT:n mukaisen tuotannon. Käyttöpaneeliin voitaisiin
yksinkertaisesti laittaa lista erilaisista kokoonpanoista. Ohjelmaa valittaessa voitaisiin
siten myös syöttää kokoonpantavien tuotteiden määrä.

Solulla on tulevaisuutta ajatellen laajentumiskapasiteettia, sillä tehtaan pohjapinta-alasta
oli mahdollista käyttää näihin toimintoihin 50 neliometriä. Työssä esitelty astelu vie
pinta-alaa vain 35 m². Esimerkiksi toinen robotti olisi mahdollista ottaa käyttöön, jol-
loin solun tuottavuus saataisiin lähes kaksinkertaistettua. Tällöin voitaisiin valmistaa
esimerkiksi kahta erilaista kokoonpanoa samanaikaisesti.

Työssä mainittuja suunnitelmia voidaan muuttaa monella tavalla. Täytyy vain päättää
miltä kantilta lähdetään optimaalista ratkaisua hakemaan. Nämä riippuvat siitä, että hae-
taanko esimerkiksi ihmisen työnosuuden minimointia, työkierron nopeutta vai kenties
investointien halpuutta.

LÄHTEET

ABB. 2011. Yrityksen Internet-sivut. Luettu 30.11.2011
www.abb.com/product/

AGCO Sisu Power. 2011. Yrityksen Internet-sivut. Luettu 28.4.2011.
www.agcosisupower.com/suomi/

Aalto, H., Heilala, J., Hirvelä, T., Kuivanen, R., Laitinen, M., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Lylynoja, A., Renfors, J., Selin, K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainen, M., Vihinen, J. & Virtanen, A. 1999. Robotiikka. Vantaa: Suomen Robotiikkayhdistys Ry.

Aaltonen, K., Airila, M., Andersin, H., Ekman, K., Kauppinen, V., Liukko, T. & Pohjala, P. 1992. Tuotantoautomaatio. Hämeenlinna: Otatieta.

Billingsley, J. & Bradbeer, R. 2008. Mechatronics and Machine Vision in Practice. Heidelberg, Germany: Springer.

Helminen, P. Production manager of gear department in AGCO Sisu Power. 2011. AGCO Sisu Power gears and transmissions. Company presentation. Linnavuori, Finland.

Laitinen, M. Sales manager of Robot department in Fastems. 2010. Force Sensors for Intelligent robot. Presentation on May 18th 2011. AGCO Sisu Power. Linnavuori, Finland.

Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. 1. Painos. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys Ry.

Rajala, P. 2011. Materiaalivirtojen hallinta layoutista toteutukseen ja läpäisyajan tehostamiseen. Liiketalouden, yrittäjyyden ja ravitsemusalan yksikkö. Pienen ja keskisuuren yritystoiminnan liikkeenjohdon koulutusohjelma. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Rantala, V. 2010. Uuden tuotantoprosessin layoutin suunnittelu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Piittala, T. 2011. Haastattelu 7.10.2011. Haastattelija Ruotsalainen, E. AGCO Sisu Power. Linnavuori.

Työntekijät hammaspyöräkoonpanossa 2011. Haastattelu 10.5.2011. Haastattelija Ruotsalainen, E. AGCO Sisu Power. Linnavuori.

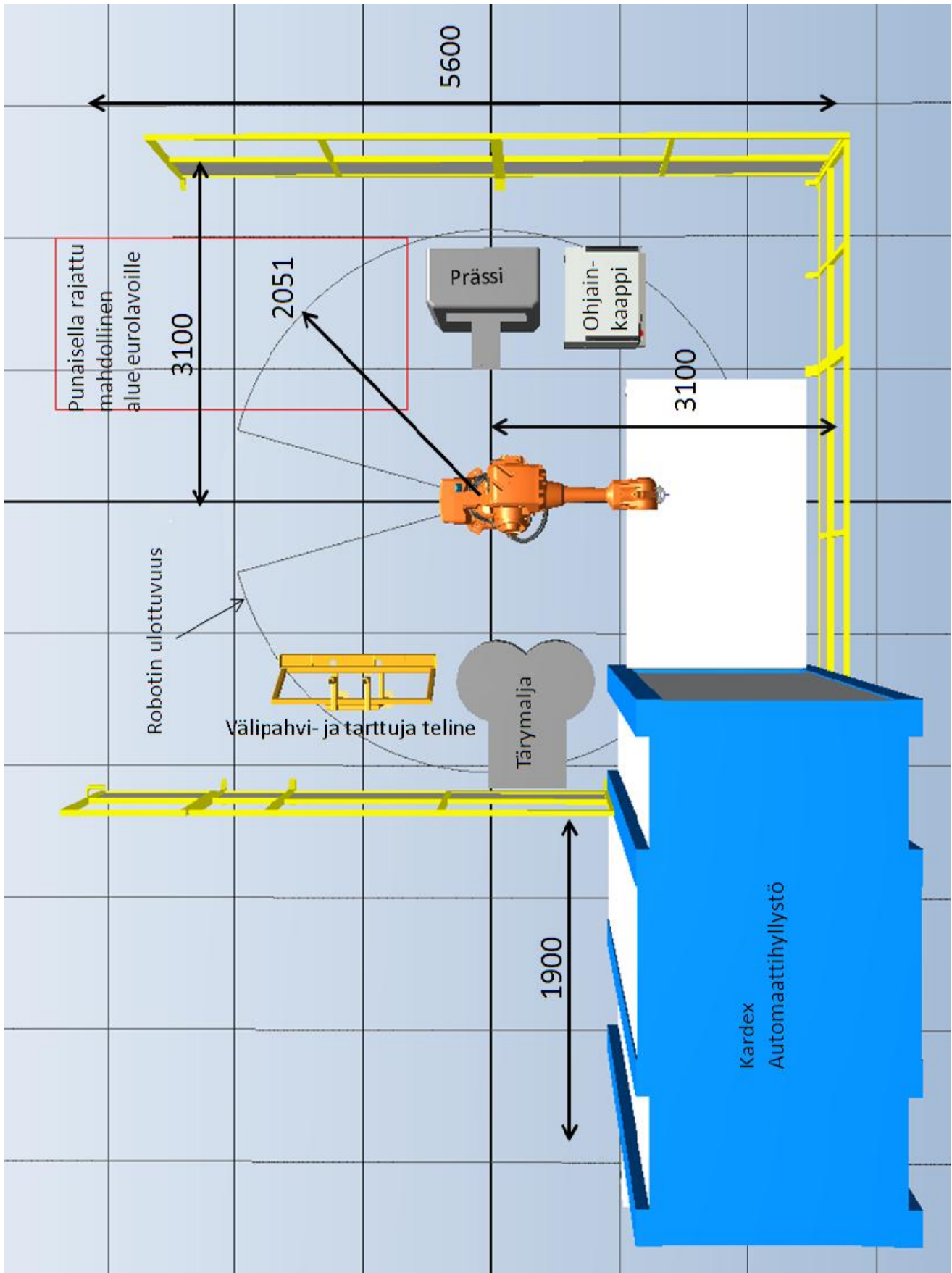
Uusitalo, J. Tampereen teknillinen yliopisto. 2005. Johdanto konenäköön. Opetus diat.

Tervala, J. AGCO Sisu Power. 2010. Yrityksen esittely diat

LIITTEET

Liite 1: Layout

Liite 2: Valitut komponentit



LIITE 2

Komponentti	Määrä (kpl)	Valmistaja	Malli	Tarjous	Hinta
Kaksoistarttuja	1	Schunk	PZN-125 ja PGN-125		3300
Välipahvitarttuja	1				2000
Pyörivä liitin	1				5000
Ruuvinväännin	1	Atlas Copco	ETD DS7-50-135T	X	8000
Konenäkö	1	Iris	Iris GT1900	X	4000
Induktiivinen anturi	Useita				300
Prässi	1	SMC	M5QB70	X	29500
Tärymalja	2	ERKA		X	20000
Sumuvoitelija	1	Loctite			3000
Robotti	1	ABB	4600		60000
Ohjausboksi	1	ABB			900
Automaattihyllystö	1	Kardex	XP		45000
Turvahäkki	1	Axelent	X-Guard	X	2000
Valoverho	1	Teknotikka	F3S-TGR-CL48-035-1500	X	2000
Käyttöönotto	1				20000
pneumatiikka	1				4000
sähköistys	1				2000
					211000