

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Iiro Saukkonen

Niittaustyövaiheen robotisoinnin esisuunnittelu

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014



**OPINNÄYTETYÖ**  
Toukokuu 2014  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutus-  
ohjelma  
Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
+358 50 260 6800

Tekijä(t)  
Iiro Saukkonen

Nimeke  
Niittaustyövaiheen robotisoinnin esisuunnittelu

Toimeksiantaja  
Abloy Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyöni tavoitteena oli selvittää, olisiko Abloy Oy:n sähkölukotliiketoimintayksikön niittaustyövaiheen robotisointi mahdollista ja saataisiinko tällä tavoin parannettua työvaiheen tuottavuutta. Robotisoinnista tehtiin esisuunnittelu, jonka tärkeimpinä osioina olivat tuotteiden lajittelu ja robotisoinnin ideointi.

Suunnittelun lähtökohtana oli ajatus siitä, että toiselle nykyisistä niittauskoneista hankitaan robotti, joka täyttäisi kiinnittimet ja tekisi suuren volyymin tuotteita. Toisella ennalteen jäävällä koneella työntekijä täyttäisi kiinnittimiä ja operoisi robotisoitua konetta.

Tuotteita lajiteltaessa pyrittiin löytämään sopiva yhdistelmä, jossa mahdollisimman vähäisellä syöttölaitteiden määrällä saataisiin riittävä koneaika. Samalla pyrittiin nostamaan esiin automaation kannalta hankalia osia ja esittämään korjausehdotuksia.

Ideoitu laite tulee valmistamaan kappaleita enemmän kuin työntekijä, mutta toisaalta työntekijältä kuluu aikaa laitteen käyttämiseen ja näin ollen toinen niittauskone tuottaa vähemmän. Tästä huolimatta työvaiheen valmistuskapasiteetti tulee nousemaan hiukan, lisäksi tuottavuus paranee huomattavasti työntekijäkustannusten puolittuessa.

Mikäli robotisointihanke toteutettaisiin, tulisi aloittaa tuotekehitystyö niitattavien osien parantamiseksi automaation kannalta. Tällä tavoin tarvittavien syöttölaitteiden määrää saataisiin vähennettyä ja koneesta tulisi yksinkertaisempi.

Kieli  
suomi

Sivuja 47  
Liitteet  
Liitesivumäärä

Asiasanat  
robotit, tuottavuus, niittaus



**Karelia**  
AMMATTIKORKEAKOULU

**THESIS**  
May 2014  
Degree Programme in mechanical and  
production engineering  
Karjalankatu 3  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
+358 50 260 6800

Author(s):  
Iiro Saukkonen

Title  
Preliminary design of robotized riveting work phase

Commissioned by  
Abloy Oy

#### Abstract

The purpose of the thesis was to determine whether it is possible to robotize a riveting work phase at Abloy Oy and study its impacts on improving the productivity of the phase. The aim of this study was to design a preliminary robot. The most important parts of the preliminary design were product sorting and ideation of a robotized machine.

The idea of this new work phase was that a robot would fill jigs of riveting machine and manufacture products with a higher volume. Meanwhile, a worker will fill another riveting machine jig and operate a robotized machine.

In the product sorting phase the main goal was to search suitable product mix where the amount of feeding machines is minimized but machine time of products is sufficient at the same. Another important task was to find out difficult parts to the automated machine and try to find better solutions for them.

As a result, the new machine will manufacture more than a worker but also takes some time from another machine worker. Consequently, this unchanged machine will produce less than at the present state but in total the production capacity will slightly rise and productivity will increase significantly as employee costs will be diminished by 50 per cent.

In the future some product development is to be carried out to make parts more easily used with automation. In this way robotized machine does not need so many feeding machines and the machine would become simpler.

Language  
english

Pages 47  
Appendices  
Pages of Appendices

Keywords  
robots, productivity, riveting

# SISÄLLYS

## Tiivistelmä Abstract

|       |                                    |    |
|-------|------------------------------------|----|
| 1     | JOHDANTO .....                     | 3  |
| 2     | KEHITYSTYÖ .....                   | 4  |
| 2.1   | Jatkuva parantaminen.....          | 4  |
| 2.2   | PDCA .....                         | 5  |
| 2.3   | Seitsemän laatutyökalua .....      | 5  |
| 3     | TUOTANNON TUNNUSLUVUT .....        | 7  |
| 3.1   | Kapasiteetti .....                 | 7  |
| 3.2   | Läpäisy aika .....                 | 8  |
| 3.3   | Tuottavuus .....                   | 9  |
| 4     | TEOLLISUUSROBOTTI.....             | 10 |
| 4.1   | Käsitteitä .....                   | 11 |
| 4.2   | Teollisuusrobottien historia ..... | 11 |
| 4.3   | Teollisuusrobottimallit.....       | 12 |
| 4.3.1 | Suorakulmainen robotti .....       | 12 |
| 4.3.2 | Nivelvarsirobotti .....            | 13 |
| 4.3.3 | Scara.....                         | 14 |
| 4.3.4 | Rinnakkaisrakenteinen robotti..... | 14 |
| 4.4   | Robottien ohjelmointi.....         | 15 |
| 4.5   | Tarttijat.....                     | 16 |
| 4.6   | Turvallisuus.....                  | 18 |
| 5     | NIITTAUS.....                      | 20 |
| 6     | TYÖVAIHE .....                     | 21 |
| 7     | TUOTTEET .....                     | 22 |
| 7.1   | Tuotteiden lajittelu.....          | 22 |
| 7.2   | Ryhmä B .....                      | 24 |
| 7.2.1 | B1.....                            | 24 |
| 7.2.2 | B2.....                            | 27 |
| 7.2.3 | B3.....                            | 27 |
| 7.3   | Ryhmä A .....                      | 27 |
| 7.3.1 | A2.....                            | 29 |
| 7.3.2 | A3.....                            | 29 |
| 7.3.3 | A4.....                            | 30 |

|       |                                 |    |
|-------|---------------------------------|----|
| 7.4   | Ryhmä D .....                   | 30 |
| 7.5   | Ryhmä E .....                   | 30 |
| 8     | TYÖKIERTO .....                 | 31 |
| 8.1   | Kiinnittimen täyttö.....        | 34 |
| 8.1.1 | Tarttujen suunnittelu.....      | 35 |
| 8.1.2 | Tarttuja 1 .....                | 35 |
| 8.1.3 | Tarttuja 2.....                 | 36 |
| 8.1.4 | Tarttuja 3.....                 | 37 |
| 8.1.5 | Tarttuja 4.....                 | 37 |
| 8.1.6 | Tarttuja 5.....                 | 38 |
| 8.2   | Tappien syöttö .....            | 39 |
| 8.3   | Lukkopesän syöttö .....         | 42 |
| 8.4   | Kappaleen poisto .....          | 43 |
| 9     | ROBOTISOINNIN VAIKUTUKSET ..... | 44 |
| 9.1   | Kapasiteetti .....              | 44 |
| 9.2   | Laatu.....                      | 44 |
| 9.3   | Läpäisy aika .....              | 44 |
| 10    | POHDINTA.....                   | 45 |
|       | LÄHTEET .....                   | 47 |

## 1 Johdanto

Opinnäytetyöni toimeksiantajana on Abloy Oy. Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Sähkölukot-liiketoimintayksikön niittaustyövaihetta teollisuusrobotin avulla. Työharjoittelujaksoilla olen työskennellyt Abloy Oy:n Sähkölukot liiketoimintayksikön tuotannossa, joten opinnäytetyön tekeminen Abloy Oy:lle tuntui luontevalta jatkolta harjoitteluille.

Toimeksiantajan tarve uudistaa niittaustyövaihetta perustuu siihen, että työvaihe nykyisellään on osavalmistuksen pullonkaula, eli muita työvaiheita hitaamman valmistuksen vuoksi kappaleet kertyvät niittaustyövaiheen välivarastoon. Lisäksi työvaiheen kustannukset ovat liian suuret ja niitä halutaan pienentää.

Niittaussolussa on tällä hetkellä kaksi niittauskonetta, jotka molemmat tarvitsevat työntekijän täyttämään kiinnittimet. Tarkoituksena on esisuunnitella toista konetta varten teollisuusrobotti, joka täyttäisi kiinnittimen ja tekisi pitkää koneaikaa vaativat tuotteet, kun taas toisella ennalleen jäävällä koneella valmistettaisiin joustavammin pienet ja koneajaltaan nopeat tuotteet. Tällä tavoin soluun riittäisi yksi työntekijä ja toinen vapautuisi muihin tehtäviin.

Työ rajataan sisältämään vain esisuunnittelu, ja siinä tärkeimmässä roolissa ovat robottisolun ideoiminen ja tuotteiden lajittelu. Tärkeä osa tätä opinnäytetyötä on tuotteiden lajittelussa, jossa pyritään samalla nostamaan esiin automaation kannalta hankalia tuotteita ja niiden osia. Työn tavoitteena on selvittää, voisiko kyseistä työvaihetta automatisoida ja tällä tavoin parantaa tuottavuutta.

Abloy Oy sai alkunsa Emil Henrikssonin vuonna 1907 keksimästä haittalevyillä toimivasta lukosta. Ajatuksen pyöriviin koodilevyihin perustuvasta lukosta Henriksson sai kassakoneen kiertyvistä levyistä. Suomen keksintösäätiö on noteerannut Abloy-lukon Suomen parhaaksi keksinnöksi. Laajempi lukkojen tuotanto aloitettiin vuonna 1918, mutta patentti keksinnölle saatiin vasta vuonna 1919, samalla perustettiin yritys Ab lukko Oy. Yrityksen alkukirjaimista tulee Abloy tuo-

temerkin nimi. Abloy-lukon sylinterin rakenteelliset edut muihin valmistajiin nähden ovat sen sarjoitettavuus ja sen kestävyys kovissa olosuhteissa. Abloy Oy:llä on kaksi tehdasta, joista molemmat sijaitsevat Suomessa. Björkbodan tehtaalla valmistetaan mekaanisia lukkorunkoja sisä- ja ulko-oviin. Joensuun tehtaalla valmistetaan monipuolisia lukitustuotteita, ovensulkimia, rakennusheloja ja ovi-automatiikkaa. Abloy Oy työllistää yhteensä noin 850 henkeä, joista 700 Suomessa. Abloy Oy on osa Assa Abloy konsernia, joka on maailman johtava ovi ympäristöratkaisujentoimittaja. (Abloy 2014.) Assa Abloy on listattu Tukholman pörssiin ja se työllisti 42556 työntekijää vuonna 2013. (Assa Abloy 2014).

## **2 Kehitystyö**

Nykyaikaisessa yritysten kovassa kilpailussa kehitystyö ei ole kilpailuvaltti vaan elinehto, sillä ainoa pysyvä tila on muutos ja siinä tulee pysyä mukana. Yrityksissä kehitystyötä tulisi tehdä joka osa alueella niin tuotannossa, tuotteissa kuin liiketoiminnankin osalta. Toiminnan jatkuva parantaminen edesauttaa laadun ja tuottavuuden kehittymistä. Kehitystyön tulee olla pitkäjänteistä ja järjestelmällistä. Lisäksi koko henkilöstö tulisi saada sitoutumaan kehitystyöhön. Tästä huolimatta henkilöstöstä löytyy aina muutosvastarintaa. Muutosvastarinta johtuu sopeutumisesta nykytilanteeseen ja tästä johtuen muutosta pidetään uhkana. Muutosvastarinta tulee kuitenkin selättää, mikäli halutaan tehokkaasti kehittää yrityksen tai sen osan toimintoja.

### **2.1 Jatkuva parantaminen**

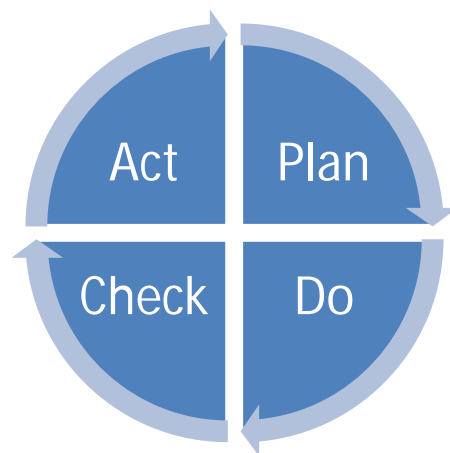
Jatkuva parantaminen on toimintamalli, jossa pyritään kehittämään toimintaa, kuten tuotantoa jatkuvasti. Jatkuvassa parantamisessa henkilöstö pyrkii kehittämään omia toimintojaan. Yritystasolla jokainen toiminto ja tehtävä pyritään hiomaan kohti täydellisyyttä. Jatkuvasta parantamisesta usein käytetään myös Japanin kielistä nimeä kaizen, joka tarkoittaa ”kehitystä”. Jatkuvan parantamisen hyödyt perustuvat suureen määrään pieniä kehitysaskaleita, joiden kumu-

loituaessa saavutetaan suuria tuloksia. Pienet muutokset ovat muutosvastarinnan osalta vähemmän herkkiä kuin suuret radikaalit muutokset. (Haverila ym. 2005, 381.)

## 2.2 PDCA

PDCA-ympyrä on jatkuvan parantamisen ja laadunkehityksen perinteinen työkalu. Sitä kutsutaan myös kehittäjänsä mukaan Demingin-ympyräksi.

Ensimmäinen kirjain tulee sanasta Plan, jolla tarkoitetaan suunnittelua. Tässä vaiheessa pyritään ymmärtämään ongelmaa tai mahdollisuutta ja analysoimaan sitä sekä kehittämään muutamia ideoita. Seuraava vaihe on Do eli toteuta, tässä vaiheessa ideat pannaan käytäntöön. Check eli tarkasta vaiheessa tarkastellaan tuloksia ja vertaillaan niitä tavoitteeseen. Act eli kehitä vaiheessa tuloksesta riippuen aloitetaan korjaavat toimenpiteet tai standardoidaan hyvät tulokset. (Sobek II & Smalley 2008, 4.)



Kuva 1. PDCA-ympyrä. (Kuva: Saukkonen 2014.)

## 2.3 Seitsemän laatutyökalua

Tarkastuskorttia käytetään laatutietojen keräämiseen, myöhempää käyttöä varten. Tarkastuskortille voidaan dokumentoida mittaustuloksia, virheellisten tuotteiden tarkastuksia ja vianmäärittämiä sekä virheen sijainti ja syyn määrittelyt. (Haverila ym. 2005, 390.)



Histogrammia käytetään kuvaamaan kerätyn tiedon jakaumaa palkkimuodossa. Histogrammilla esittäessä voidaan esittää suuria määriä tietoa kompaktissa muodossa. Käytettävän tiedon tulisi olla mitattavissa olevaa, kuten lämpötila, mitat ja paino. (Brassard & Ritter. 1994, 66.) Muuttujien jakauma on tärkeä osa tuotantoprosessin analysointia; histogrammin muodosta voidaan suoraan nähdä, mitkä ovat tuotantoprosessin ongelmien todennäköiset syyt. (Haverila ym. 2005, 391.)

1800-luvun lopussa italialainen Vilfredo Pareto kehitti teorian, jonka mukaan pieni osa ihmisistä omisti suurimman osan vauraudesta. Myöhemmin tästä ajatuksesta kehitettiin Pareto periaate, jossa pieni osa syistä aiheuttaa suurimman osan ongelmista, kun taas suuri osa syistä aiheuttaa vain pienen osan ongelmista. 1900-luvun puolivälissä laatuguru tohtori Joseph M. Juran yleistä Pareto periaatteen käytön ja todisti sen sopivuuden monenlaisiin vaihteleviin tilanteisiin, erityisesti laatuongelmiin. Käsitettä alettiin myös kutsua 80/20-säännöksi, jonka ideana on, että 80 prosenttia ongelmista syntyy 20 prosentista syistä. (Joiner Associates 1995, 166.) Pareto-diagrammin avulla erotellaan merkittävät tekijät vähemmän merkittävistä. Diagrammissa palkin korkeus kertoo kuvaamansa tekijän tärkeyden. (Haverila ym. 2005, 391.)

Syy-seuraus-diagrammi eli kalanruoto kaaviota käytetään nimensä mukaisesti syy-seuraussuhteiden selvittelyyn. Kyseisellä työkalulla voidaan selvittää, mitkä eri tekijät aiheuttavat laatuvirheen. (Haverila ym. 2005, 391.) Tämän avulla voidaan keskittyä korjaamaan virheiden alkutekijät pelkkien seurausten sijaan. (Brassard & Ritter. 1994, 23.)

Ristiintaulukoinnilla analysoidaan eri tekijöiden vaikutusta laatuominaisuuksiin. Virheitä tutkittaessa voidaan valita useita erilaisia tekijöitä esimerkiksi työntekijä, raaka-aine, kone, kellonaika ja lämpötila. Tällä työkalulla pyritään löytämään tekijät tai tekijöiden yhdistelmät, jotka aiheuttavat laatuvirheen. (Haverila ym. 2005, 391.)

Hajontadiagrammilla tarkastellaan toisiinsa vaikuttavien muuttujien suhdetta. Diagrammilla voidaan siis tutkia, pitääkö olettamus kahden muuttujan korrelaatioista paikkaansa. (Brassard & Ritter. 1994, 145.)

Valvontakorttia käytetään prosessin tarkkailuun, hallitsemiseen ja parantamiseen tutkimalla vaihtelua ja sen aiheuttajia. (Brassard & Ritter.1994, 36.) Tarkastuskortilla pyritään vaikuttamaan erityisesti laaduntuottokykyyn. Mittaustulosten keskiarvon muutokset kohti rajoja kertoo säädön tarpeesta. Mikäli ylä- tai alaraja ylitetään, se kertoo riittämättömästä laaduntuottokyvystä, kun taas voimakas vaihtelu kertoo heikosta hallittavuudesta. (Haverila ym. 2005, 392–393.)

### **3 Tuotannon tunnusluvut**

Tunnuslukuja käytetään yleisesti yritysten toiminnan ohjauksen tukena. Ne ovat yleisesti käytössä toiminnan seurannan ja tavoitteiden asettelun välineenä. Toiminnan johtamiseen tarvitaan resurssien käyttöä, toiminnan tuloksia ja kuvaavia tunnuslukuja. Tuotannon tavoitteita ja toteutumista johdetaan ja analysoidaan tunnuslukujen avulla. Yritysten välillä on vaihtelua siinä, mitä tunnuslukuja käytetään, mutta yleisesti käytössä ovat tuottavuutta, kustannustehokkuutta, tuotteiden laatua ja toimitusvarmuutta kuvaavat tunnusluvut. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2005, 398.)

#### **3.1 Kapasiteetti**

Kapasiteetti ilmoittaa tuotantoyksikön enimmäissuorituskyvyn valitussa aikayksikössä. Kapasiteettiyksikköinä voidaan käyttää tarpeen mukaan vaihtelevia yksiköitä, kuten tonnia/tunti, kappaletta/tunti ja neliometriä/päivä. Joissakin tapauksissa eri tuotteet tarvitsevat erilaisen määrän kapasiteettia, tällöin kapasiteetti voidaan määritellä resurssin käyttöaikana tuntia/viikko. (Haverila ym.2005, 399.)

Kuormitusryhmä tarkoittaa tiettyä kokonaisuutta, jonka kapasiteetin ja kuormituksen suhdetta tutkitaan yhtenä kokonaisuutena. Kuormituksella tarkoitetaan, kuinka paljon suunniteltu tuotanto kuormittaa kapasiteettia. Kuormitussuhde kertoo ajanjakson suhteellisen kuormituksen käytettävissä olevaan kapasiteettiin verrattuna. Kuormitusaste ja -suhde eroavat käyttöasteesta ja -suhteesta

siten, että jälkimmäiset kuvaavat suunnittelun kuormituksen sijaan toteutuneen tuotannon määrää ja suhdetta kapasiteettiin. (Haverila ym. 2005, 399–400.)

Nettokapasiteetti ilmoittaa todellisen kapasiteetin, joka on yleensä huomattavasti pienempi kuin maksimikapasiteetti. Nettokapasiteetti on yleensä vain 50 % – 90 % maksimikapasiteetista. Kapasiteettia vähentävät häiriöt, sairaudet, koulutukset, huoltotyöt, konerikot, materiaalipuute ja viallisesti valmistetut tuotteet. (Haverila ym. 2005, 400.)

### **3.2 Läpäisy aika**

Läpäisy aika kuvaa aikaa, jonka toimintaketju vaatii. Läpäisy aika tarkoittaa joko kokonaisläpäisy aikaa tai valmistuksen läpäisy aikaa. Valmistuksen läpäisy aika tarkoittaa aikaa, joka kuluu tuotteen valmistamiseen alusta loppuun. Kokonaisläpäisy aika sen sijaan kuvaa aikaa tilauksesta toimitukseen. Läpäisy aika laskeaan toimintaketjun kokonaisaikana ottamatta kantaa, mitä tuotteelle tapahtuu tänä aikana. Läpäisy ajalla ei kuvata tuottavuutta tai tuotteen vaatimaa valmistusaikaa. Valtaosa läpäisy ajasta on odotusaikaa, sillä työvaiheajat muodostavat vain murto-osan kokonaisajasta. Lyhyillä läpäisy ajoilla on positiivisia vaikutuksia yrityksen toimintaan, kuten vähentynyt keskeneräiseen tuotantoon sitoutunut pääoma, kehittyvä toimitusvarmuus ja laatu, sekä helpompi kapasiteetin suunnittelu. Läpäisy aikojen lyhentämisestä on tullut yksi keskeisimmistä tuotannon kehittämisen tavoitteista. Läpäisy aikaa voidaan lyhentää pienentämällä eräkokoa, vähentämällä valmistusvaiheiden määrää, hävittämällä välivarastoja ja materiaalien virtautuksella. Eräkokojen pienentäminen vaatii asetusaikojen lyhentämistä, sillä pitkät asetusaajat ja pienet eräkoot eivät ole taloudellisesti kannattavia kapasiteetin kuluessa asetuksen tekoon. Asetusaika kertoo, kuinka paljon aikaa kuluu vaihtaa valmistettavasta tuotteesta toiseen. (Haverila ym. 2005, 401–406.)

### 3.3 Tuottavuus

Tuottavuudella yleisesti tarkoitetaan tuotosten ja niiden aikaansaamiseksi käytettyjen panosten suhdetta. Tuottavuuden paraneminen lisää taloudellista kasvua ja yleensä merkitsee yritykselle muun muassa parantunutta kilpailukykyä, työpaikkojen turvaamista, palkanmaksukyvyyn paranemista ja joidenkin töiden luonteen muuttumista. Tuottavuutta voidaan tarkastella aina kansantalouksista yksittäisiin työntekijöihin asti. Kokonaistuottavuuteen kuuluvat kaikki panokset ja tuotokset, kuten materiaali-, työ- ja pääomapanokset, mutta myös muita tekijöitä kuten, kertyvä kokemus ja tekninen tietämys. Osatuottavuudessa yleensä lasketaan tuottavuutta vain yhden tuotannontekijän suhteen. (Haverila ym. 2005, 20–22.) Tuotannontekijöillä tarkoitetaan niitä resursseja, jotka mahdollistavat tuotannon. Yleisesti näitä ovat työ, pääoma, materiaali ja joissakin tapauksissa myös tieto. (Haverila ym. 2005, 352–353). Tuottavuutta on mahdollista kohottaa jatkuvalla ja järjestelmällisellä kehitystyöllä, jolla taloudellisuuden ja tuottavuuden parantumisen lisäksi lisätään turvallisuutta ja työn miellyttävyyttä. (Haverila ym. 2005, 22).

Useasti automaation käyttöä perustellaan tuottavuusnäkökohdilla. Monilla teollisuuden alueilla sen tehokasta käyttöä pidetään perusedellytyksenä, sillä automaattisilla laitteilla pystytään tuottamaan tuotteita nopeasti ja tehokkaasti. Automaatiolla voidaan myös korvata työvoimaa ja tällä tavoin pienentää valmistuskustannuksia. Tavallisesti automaatiolla toteutetaan toistuvia tehtäviä, joten esimerkiksi projektituotanto on alue, jossa automatisointi on hankalaa. Automaation tuottavuus ja laatu riippuu siitä, kuinka hyvin kappale soveltuu kyseisellä tekniikalla valmistettavaksi. Lisäksi automaatiotekniikka vaatii henkilöstöltä osaamista, mikäli osaamista ei löydy, se johtaa laatu- ja tuottavuusongelmiin. (Haverila ym. 2005, 493–497.)

Automaation yleistymistä voidaan osaltaan selittää automaatiotekniikan halpemisella, kun samanaikaisesti työntekijäkustannukset ovat nousseet, tästä huolimatta automaation hankinta ja käyttöönotto on kallista. Automaation kannattava käyttöönotto edellyttää yleisesti suuria valmistusmääriä, jotta yksikkökustannuksia saataisiin alennettua. Automatisoidut laitteet vaikuttavat myös

tuotteiden laatuun. Yleensä ihminen tekee vastaavassa työssä automaattista laitetta enemmän virheitä. (Haverila ym. 2005, 493–497.)

## 4 Teollisuusrobotti

Teollisuusrobotit määritellään eri tavalla riippuen maanosasta ja lähteestä. Määrittelyjen erot ovat kuitenkin pieniä, useasti esiin nousevat uudelleen ohjelmoitavuus, monikäyttöisyys ja automaattisesti ohjattavuus. (Malm, Viitaniemi, Martio, Toivonen, Koskinen, Venho, Salmi, Laine & Latokartano 2008, 1.) Seuraavaksi esitellään robotin määritelmä muutaman eri standardin mukaan. SFS-EN 10218-1 määrittelee teollisuus robotin seuraavasti:

Teollisuuden automaatiosovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva. (SFS 10218-1, 12.)

”Standardin ISO 8373:1994 mukaan: Automaattisesti ohjattava, uudelleenohjelmoitava, monikäyttöinen manipulaattori, jossa on vähintään kolme ohjelmoitavaa akselia.” (Malm ym. 2008, 1.)

Yksinkertaisesti ajateltuna teollisuusrobotti on mekaaninen kone, joka siirtelee työkalun kiinnityslaippaa ja sen asentoa halutulla tavalla. Robotin tukivarret on liitetty toisiinsa nivelillä ja niitä liikuttavat takaisinkytkettävästi ohjattavat servo-toimilaitteet. (Aalto, Heilala, Hirvelä, Kuivanen, Laitinen, Lehtinen, Lempiäinen, Lylynoja, Renfors, Selin, Siintoharju, Temmes, Tuovila, Veikkolainen, Vihinen & Virtanen 1999, 13–15.)

Teollisuusautomaatio jaetaan kolmeen osaan; kiinteään, ohjelmoitavaan ja joustavaan automaatioon. Kiinteässä automaatiossa kappaleiden valmistusvolyymit ovat todella korkeita ja käytössä olevat laitteet on suunniteltu ja valmistettu juuri tätä kyseistä työtä varten. Ohjelmoitavassa automaatiossa yleisesti valmistusvolyymit ovat verrattain pieniä, mutta valmistettavia tuotteita on useita erilaisia ja ne valmistetaan erissä. Joustavassa automaatiossa voidaan valmistaa useita tuotteita samanaikaisesti. Yleisesti teollisuusrobotteja käytetään ohjelmoitavas-

sa ja joustavassa automaatiossa. (Kuttan. 2007,4). Tässä opinnäytetyössä suunniteltava robottisolu luetaan ohjelmoitavaan automaatioon, useiden erilaisien tuotteiden ja erävalmistuksen vuoksi.

#### **4.1 Käsitteitä**

Toistotarkkuudella tarkoitetaan sitä tarkkuutta, jolla työkalun piste palaa takaisin sille opetettuun pisteeseen. Absoluuttisella tarkkuudella tarkoitetaan tarkkuutta, jolla robotti pystyy paikoittumaan sen runkoon sidottuun koordinaatistoon nähdessä. Absoluuttinen tarkkuus on huomattavasti heikompi kuin toistotarkkuus. (Aalto ym. 1999,14.)

Työalueella tarkoitetaan tilaa, jossa robotti pystyy työskentelemään. Robotin työalue määräytyy työkalulaipan, eikä siihen liitetyn työkalun ulottuman mukaan. (Kuttan. 2007,16.) Työalueen muotoon ja kokoon vaikuttaa robottimallin lisäksi sen fyysinen koko.

Yhtä robotin perusliikettä eli niveltä kutsutaan vapausasteeksi. Teollisuusrobo-teissa vapausasteet ovat kiertyviä tai suoria. Toimilaitteita ovat esimerkiksi moottorit ja sylinterit. Jokaista vapausastetta kohti on vähintään yksi toimilaite. (Aalto ym. 1999,15.)

#### **4.2 Teollisuusrobottien historia**

Vuonna 1959 George Devol ja Joseph Engelberger kehittivät ensimmäisen teollisuusrobotin nimeltään Unimate. Kaksi vuotta myöhemmin ensimmäinen Unimate otettiin teolliseen käyttöön Generalmatorsin tehtaalla. Tehdas valmisti autoteollisuuden osia, kuten vaihdekepin nuppeja ja ovenkahvoja. Robotti kasasi kuumia painevalettuja osia. Robotin valmistus maksoi sen valmistajalle Unimationille 65 000 dollaria, mutta se myytiin vain 18 000 dollarin hintaan. Vuonna 1967 Euroopan ensimmäinen Unimate asennettiin Ruotsiin. (International federation of robotics, 2012.) Aluksi teollisuusrobotit suunniteltiin niin, että yksi robottityyppi voisi tehdä mahdollisimman monia eri töitä. Myöhemmin kuitenkin huomattiin, että on kannattavampaa valmistaa erilaisia robotteja eri tehtäviin. (Aalto ym. 1999, 13).

Ensimmäinen pistehitsausrobotti asennettiin Generalmotorin kokoonpanotehtaalle vuonna 1969. Samana vuonna norjalainen Trallfa alkoi myydä ensimmäistä kaupallista maalausrobotia, joka oli alun perin kehitetty helpottamaan Norjan työvoimapulaa. Vuonna 1973 saksalainen KUKA valmisti ensimmäisen sähkömekaanisesti ohjatun kuusiakselisen robotin. Vuotta myöhemmin japanilainen Kawasaki kehitti ensimmäisen kaarihitsausrobotin pistehitsaamaan moottoripyörän runkoja. Vuonna 1978 Hiroshi Makino Yamanashin yliopistosta kehitti SCARA-robotin (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Samana vuonna saksalainen Reis-yhtiö kehitti ensimmäisen kuusiakselisen robotin omalla ohjausjärjestelmällä. Vuonna 1998 ruotsalainen Abb kehitti flexpickerin, maailman nopeimman robottimallin. (International federation of robotics, 2012.)

Teollisuusrobotit otettiin ensimmäisenä käyttöön autoteollisuudessa ja vielä tänäkin päivänä robottivalmistajien tärkein asiakas on autoteollisuus. Muita tärkeitä teollisuuden aloja ovat elektroniikka-, kemikaali-, muovi-, kumi- ja metalliteollisuus. Vuonna 2012 oli maailmanlaajuisesti käytössä arviolta 1 235 000-1 500 000 teollisuusrobotia. Arvion alempi luku on arvioitu ja laskettu niin, että robotin keskimääräinen käyttöikä olisi 12 vuotta, kun taas ylempi luku 15 vuoden käyttöiän mukaan. (International federation of robotics, 2013.)

### **4.3 Teollisuusrobottimallit**

Teollisuusrobotit lajitellaan niiden mekaanisen rakenteen mukaan. Yleensä niillä pyritään matkimaan ihmisen käsivarren toimintoja ja rakenteita. (Aaltonen & Torvinen 1997). Yleisimpiä malleja ovat: Suorakulmainen robotti, SCARA, Nivelvarsirobotti ja rinnakkaisrakenteinen robotti. (International federation of robotics, 2014).

#### **4.3.1 Suorakulmainen robotti**

Suorakulmaisella robotilla on kolme niveltä, joiden kaikkien liikkeet ovat lineaarisia ja näin ollen työskentelyalue on suorakulmainen särmiö. Yleensä tätä ro-

bottimallia käytetään nopeisiin töihin. Se on rakenteeltaan selvästi yksinkertaisin robottimalleista. (Struijk 2011.)



Kuva 2. Suorakulmainen robotti ja sen työalue. ( Kuva:International federation of robotics, 2014.)

#### 4.3.2 Nivelvarsirobotti

Nivelvarsirobotin työalue on pallomainen ja sillä on kuusi vapausastetta. Nivelvarsirobotti on joustavin robottimalli ja tästä syystä niille onkin monia sovellutuksia. Varsinkin autoteollisuudessa suosittu robottimallin tehtäviä ovat esimerkiksi piste- ja kaarihitsaus, maalaus, annostelu, lastaus ja kokoonpanotehtävät. (Struijk 2011.)





Kuva 3. Nivelvarsirobotti. (Kuva: Kuka, 2013.)

### 4.3.3 Scara

SCARA on lyhenne sanoista: (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Scaroilla on yleisesti neljä akselia ja sen työalue on sylinterimäinen. Tällä työalueella se on tyypillisesti nopeampi verrattaessa esimerkiksi nivelvarsi- tai suorakulmaiseen robottiin. Lisäksi liikkeiden toistettavuus ja tarkkuus ovat parempia kuin nivelvarsirobotilla. Scaraa käytetään yleisesti kokoonpano-, pakkaus- ja materiaalin käsittelyyn, vaikkakin sen pääkäyttötarkoitus on kevyiden tavaroiden siirtely. Rajoituksia scaran käyttöön tuo sen neljä akselia, mistä johtuen robotti ei pysty osan nostamisen jälkeen enää uudelleen orientoimaan sitä. (Struijk 2011.)



Kuva 4. Scara-robotti. (Kuva: Omron 2014.)

### 4.3.4 Rinnakkaisrakenteinen robotti

Rinnakkaisrakenteisella robotilla työalue on kartiomainen tai sylinterimäinen ja niitä käytetään yleisesti sovellutuksissa, joissa tuote pysyy samalla tasolla siirron jälkeen. Robotin tukivarret ovat ohuet ja kevyet, ja tämä mahdollistaa nopeat liikkeet. Tästä syystä näitä robotteja käytetäänkin kevyiden kappaleiden nopeaan käsittelyyn. Rinnakkaisrakenteisia robotteja on saatavilla neljä- ja kuusiakselisina, eli mikäli sovellutus sitä vaati, voi robotti orientoida kappaleen noston jälkeenkin. (Struijk 2011.)



Kuva 5. Rinnakkaisrakenteinen robotti. (Kuva: ABB, 2014.)

#### 4.4 Robottien ohjelmointi

Ensimmäisiä robotteja ohjelmoitiin sähkömekaanisilla kytkennöillä, joiden avulla nivelet saatiin päin haluttuja rajakatkaisijoita vaihe kerrallaan. Suurimmassa osassa nykysovellutuksia robotti liikutetaan haluttuun asemaan ja opetetaan asema robotille. Tämän lisäksi ohjelman toiminnan logiikka ja useat liikeratojen asemat luodaan tietokoneohjelmoinnilla. Jos robotista ja sen työympäristöstä on olemassa kolmiulotteinen malli, voidaan tehdä tietokoneella mallipohjaista ohjelmointia. Robotin liikuttaminen etäältä teknisen käyttäjäliitynnän avulla on myös mahdollista. Tätä kutsutaan teleoperoinniksi. (Aalto ym. 1999, 78.)

Robotinohjelmointimenetelmät voidaan jakaa kahteen pääluokkaan; on-line- ja off-line-ohjelmointiin. On-line-ohjelmoinnissa robotti ei ole tuotantokäytössä ohjelmoinnin aikana, vaan sitä joudutaan käyttämään mukana ohjelmoinnissa, kuten esimerkiksi opetettaessa. Off-line-ohjelmoinnissa robotti voi tehdä tuottavaa työtä samalla, kun käyttäjä tekee ohjelmaa tietokoneella. Ohjelman valmistuttua joudutaan kuitenkin tekemään kalibrointi ohjelmoidun ja todellisen ympäristön välillä. Tällä varmistetaan, että ohjelmoidut pisteet osuvat todellisiin pisteisiin joihin liike on haluttu suorittaa. (Malm ym. 2008, 95.)

Ohjelmoitaessa opettamalla siirretään robottia sen ohjaimella haluttuun pisteeseen ja tallennetaan se. Samalla tallennetaan liikkeeseen ja muuhun ympäris-

töön liittyvät määritteet. Tämän jälkeen jatketaan seuraavaan pisteeseen ja tätä toistetaan siihen asti, kun ohjelman kaikki pisteet on tallennettu. Käsiohjaimella voidaan ohjelmoida myös oliopohjaisesti, valikkopohjaisesti tai tekstipohjaisesti. Vain tekstipohjainen ohjelmointi edellyttää ohjelmointikielen hallitsemista. (Malm ym. 2008, 95.)

Konenäköpohjainen ohjelmointi aloitetaan kuvaamalla kohde. Ohjelma laskee pisteet ja tarjoaa niitä hyväksyttäväksi käyttäjälle. Lisäksi käyttäjän tulee tarkastaa ohjelman tarjoamat hitsaustavat ja -arvot. Tämä ohjelmointitapa sopii hyvin kaksikulotteisiin kohteisiin. Etuna ohjelmointitavassa on sen nopeus. (Malm ym. 2008, 96.)

Tekstipohjainen etäohjelmointi toteutetaan erillisellä tietokoneella. Ohjelmointia hankaloittaa se, että jokaisen valmistajan ohjaimella on eri ohjelmointikieli. Tekstuaalisessa ohjelmoinnissa voidaan käyttää monimutkaisia ohjelmarakenteita, kuten aliohjelmia. Oliopohjaisessa etäohjelmoinnissa käytetään tekstin sijaan valmiita kuvakkeita ohjelman muodostamiseen. Ohjelman pisteet joudutaan opettamaan. (Malm ym. 2008, 97.)

Mallipohjaisessa etäohjelmoinnissa hyödynnetään robotin ja oheislaitteiden simuloimismalleja. Valmiit ohjelmat voidaan testata ja simuloida virtuaaliympäristössä. Tällä tavoin voidaan havaita ja korjata joitakin virheitä ohjelmassa. (Malm ym. 2008, 98.)

Automaattisessa etäohjelmoinnissa tietokoneelle on opetettu sääntöjä, joiden mukaan se tekee ohjelmat. Tietokone määrittää ohjelman annetusta CAD-kuvasta. Käyttäjä tarkastaa ja hyväksyy tai hylkää arvaukset. Loppu ohjelmointi tehdään, kuten mallipohjaisessa ohjelmoinnissa. Etuna automaattisessa etäohjelmoinnissa on sen nopeus. (Malm ym. 2008, 98.)

#### **4.5 Tarttujat**

Robottien yleisimpiä työkaluja ovat erilaiset tarttujat. Muita työkaluja ovat työkohtaiset laitteistot, kuten hitsauspistoolit ja maaliruiskut. Tarraimen suunnittelu on tärkeä osa järjestelmän suunnittelua ja siinä tulee miettiä kokonaisuutta. On

pyrittävä jättämään liiallinen ihmisen matkiminen, sillä robotilla ei ole ihmisen monipuolista aistinjärjestelmää. Tarrainta suunniteltaessa tulisi pyrkiä yksinkertaiseen rakenteeseen, pieneen kokoon ja massaan. Lisäksi tartunnan pitäisi olla luonteva ja kappaleen keskittävä. Robotin hyötykuorma määräytyy tarttuja- ja kappaleen painosta eli painava tarttuja vähentää hyötykuormaa. (Aalto ym. 1999, 64.)

Tarttujan suunnittelu aloitetaan määrittelyllä. Määrittelyvaiheessa tehdään kappale- ja prosessianalyysi. Näiden pohjalta voidaan aloittaa esisuunnittelu. Esi-suunnitteluvaiheessa etsitään periaateratkaisuja ja luonnostellaan eri mahdollisuuksia, samalla saadaan selville tarttujan rajoituksia ja vaatimuksia. Tässä vaiheessa tulee ottaa huomioon monia erilaisia kappaleen ominaisuuksia ja ympäristöolosuhteita. (Aalto ym. 1999, 65–67.) Kappaleiden osalta tärkeimpiä ominaisuuksia ovat paino, muoto, mitat toleransseineen, massakeskipiste, vakaus, pinnan ominaisuudet, materiaali, lujuus ja lämpötila. Ympäristöolosuhteista tulee ottaa huomioon prosessin voimat, vapaatila, lika, kosteus ja erilaiset tärinät. Tarttujaa käyttävän laitteen ominaisuuksia ovat paikoitustarkkuus, kiinnitystavat ja laitteen kiihtyvyydet. (Hesse 2004, 9.)

Mekaanisen tarttujan tartunta on muotosulkeinen, kitkasulkeinen tai niiden yhdistelmä. Muotosulkeisessa tartunnassa käytetään kappaleen muotoja, kuten uria ja kohoumia hyväksi. Hauraille kappaleille on hyvä käyttää muotosulkeista tartuntaa tartuntavoimien minimoimiseksi. Kitkasulkeisessa tartunnassa käytetään puristusvoimaa ja kitkaa hyväksi. Tartuntavoiman tulee olla riittävän suuri pitämään kappaleen paikallaan, mutta ei kuitenkaan tarpeettoman suuri, ettei kappaleeseen tule vaurioita. Joissakin tapauksissa puristusvoiman pienentämiseksi voidaan tarttujan sormiin lisätä kitkamateriaalia kuten kumia, kuitenkin keskittäviksi muotoilluissa sormissa liiallinen kitka on haitallista. Kappaleen pysymistä tarttujassa pyrkii vastustamaan gravitaatiokiihtyvyydestä ja robotin liikkeistä aiheutuvat voimat. Kappale pysyy paikallaan kitkavoiman avulla, joka on kappaleen normaalivoiman ja kitkakertoimen tulo. (Aalto ym. 1999, 68.)

$$F_{\mu} = \mu \cdot N$$

$$F_{\mu} = \textit{kitkavoima}$$

$\mu = \textit{kitkakerroin}$

$N = \textit{kappaleeseen kohdistuva normaalivoima}$

Kitkakertoimen merkitys tehokkaassa kiinnityksessä on suuri. Kitkakertoimelle löytyy taulukoista likiarvoja, mutta todellinen kitkakerroin vaihtelee sovellutusten välillä. Tästä syystä joudutaan käyttämään varmuuskerrointa  $n=1,5-4$ . (Hesse 2004, 46.)

Kappaleen puristusvoiman mitoitus tulee tehdä suurimman kuormitusyhdistelmän voittamiseksi. Kyseinen kuormitusyhdistelmä saadaan valitsemalla painavin kappale, maksimikiihdytys ja liikkeen suunta kohtisuorassa tartuntavoimaan nähden. (Aalto ym. 1999, 68.) Suuria kiihtyvyyksiä saadaan aikaan esimerkiksi hätä seis -tilanteissa. Näissä tilanteissa hidastuvuus voi kaksinkertaistua verrattuna normaaliin liikkeeseen. (Hesse 2004, 47).

#### 4.6 Turvallisuus

Perusmääritelmän mukaan robottijärjestelmä on yksi kone ja näin ollen se turvallisetaan yhtenä kokonaisuutena. Tällöin koko järjestelmä voidaan merkitä yhdellä CE-merkinnällä. Mikäli järjestelmän koneita voidaan käyttää erillään järjestelmästä, voidaan ne CE-merkitä erillisinä. (Aalto ym. 1999, 161).

Valmistajan on laadittava valmistamastaan koneesta vaatimustenmukaisuusvakuutus, jonka avulla valmistaja vahvistaa, että kone täyttää kaikki sille määrätyt vaatimukset. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen jälkeen voidaan tehdä CE-merkintä. Jokaisen toimitetun koneen mukana on toimitettava vaatimustenmukaisuusvakuutus. (Aalto ym. 1999, 162).

Koneen tekninen rakennetiedosto on säilytettävä kymmenen vuoden ajan koneen valmistuspäivästä, sillä se pitää pystyä toimittamaan tarpeen ilmetessä kansallisille viranomaisille kohtuullisessa ajassa eli noin kahdessa viikossa. (Aalto ym. 1999, 162–163).

Koneensuunnittelija laatii riskiarvion, jossa käydään läpi riskit, jotka arvioidaan vaaran esiintymistodennäköisyyden ja vakavuuden perustella. Arviointivaiheen

jälkeen keksitään jatkotoimenpiteitä sietämättömien riskien vähentämiseen tai poistamiseen. Riskiarvioinnin pohjalta suunnitellaan turvallisuustoimenpiteet. (Aalto ym. 1999, 164.)

Vaarojen poistaminen voidaan tehdä kolmella eri tapaa: suunnittelu, suojaus ja varoittaminen. Varoittamista turvallisuustoimenpiteenä tulee käyttää vasta, kun muut keinot on kokeiltu. Suojuksia ja turvalaitteita tulee käyttää suojaamaan henkilöitä sellaisilta vaaroilta, joita ei pystytä poistamaan tai rajoittamaan suunnittelun avulla. SFS EN 292 2. esittää suojusten ja turvalaitteiden yleiset rakenteelliset vaatimukset. Turvallisuussuunnittelussa on kaksi pääperiaatetta riskien vähentämiseksi; poistetaan läsnäoloa vaativat tehtävät vaaravyöhykkeellä ja poistetaan tai vähennetään vaara-alueella työskentelyn vaaroja turvalaitteiden avulla. (Aalto ym. 1999, 164–166.)

Robottien turvallisuusvaatimukseen liittyvä standardi on SFS-EN ISO 10218-1. Kyseisessä standardissa käsitellään esimerkiksi vaarojen tunnistamiseen ja riskiarviointiin liittyvät asiat, suunnitteluvaatimukset ja suojaustoimenpiteet, ja turvallisuusvaatimusten ja suojatoimenpiteiden todentaminen ja vahvistaminen. (SFS. 10218-1. 2011, 2.) Robotiikkaan ja koneenrakennukseen yleisesti vaikuttavia keskeisiä säädöksiä ovat:

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta (400/2008). Kyseinen asetus käsittelee koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvistä terveys- ja turvallisuusvaatimuksista sekä niiden vaatimusten mukaisuuden osoittamista, käyttöön-otosta ja markkinoille saattamisesta.

Valtioneuvoston asetus työvälaineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta (403/2008). Tätä asetusta sovelletaan koneen, välineen ja muun teknisen laitteen käyttöön ja tarkastukseen.

Työturvallisuuslaki (738/2002). Lain tarkoituksena on ennalta ehkäistä työtapa-urmia, ammattitauteja ja muita fyysisen tai henkisen terveyden haittoja. Lisäksien tarkoituksena on parantaa työympäristöä ja työolosuhteita työkyvyn ylläpitämiseksi ja turvaamiseksi.

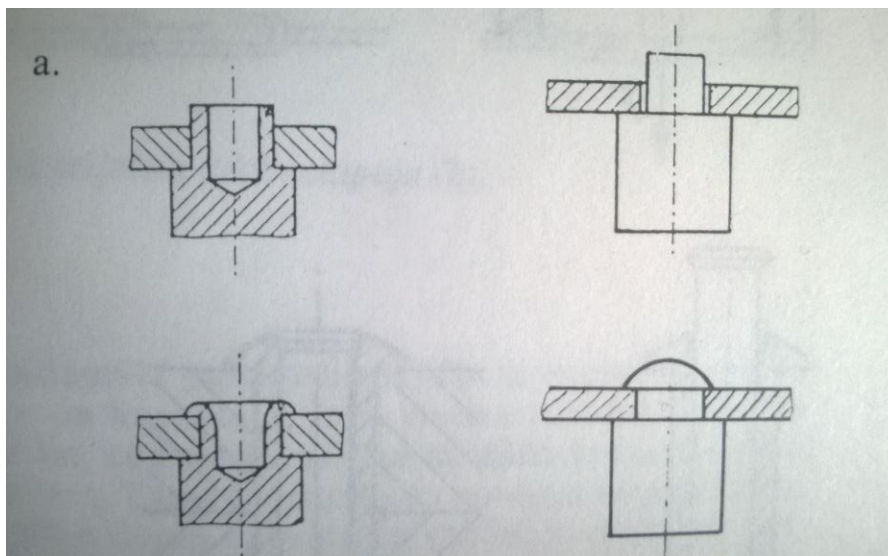
Laki työsuojelun valvonnasta ja työpaikan työsuojeluyhteistoiminnasta (44/2006). Lain tarkoituksena on parantaa työympäristöä, työsuojelua ja työolo-

suhteita työsuojelun viranomaisten työnantajan ja työntekijöiden yhteistoiminnan avulla.

## 5 Niittaus

Niittaus on levyjen liitosmenetelmä, jolla voidaan liittää levyjä toisiinsa tai lisätä levyyn erilaisia osia. Niitti on liitososa, joka laitetaan levyssä olevaan reikään ja lukitaan siihen muotoilemalla niitinkanta. Niitinkanta voidaan muotoilla usealla eri tavalla. (Vanninen & Ihalainen. 2000, 330).

Tässä työssä käytössä oleva niittauskone muovaa niitin kannan käyttämällä niittauspään aksiaalista puristusvoimaa ja pyörivää liikettä. Nämä yhdessä tyyssäävät niitinkannan ja täyttävät reiän. Alla olevassa kuvassa oikealla nähdään niitti ennen ja jälkeen muovaamisen.



Kuva 6. Niittien käyttö: a. Niitti rakenneosana. (Kuva: Vanninen & Ihalainen 2000.)

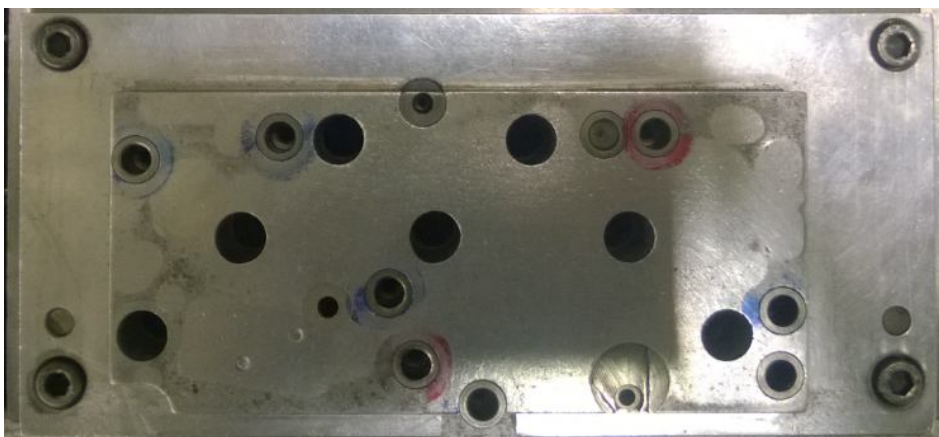
## 6 Työvaihe

Niittaustyövaiheessa lisätään erilaisia rakenneosia lukkopesälevyihin. Nykytilassa niittauskoneella työskentelevä työntekijä täyttää kiinnittimen erilaisilla tappeilla ja syöttää kiinnittimen täyttyttyä koneelle, joka niittaa kappaleen. Alla oleva kuva esittää niittauskonetta. Koneen vasemmalla puolella pöydällä ovat lukkopesälevyt. Koneen edessä pienissä kipoissa näkyvät erilaiset ruuvitapit ja oikealla puolella laatikossa valmiit kappaleet.



Kuva 7. Niittauskone. (Kuva: Saukkonen 2014.)

Kiinnitin on yksinkertaisesti metallinen suorakulmio, jossa on erikokoisia reikiä erilaisia tappeja varten. Tappien reikien lisäksi kiinnittimessä on isompia reikiä kappaleen ulostyöntäjiä varten. Kiinnittimen rungon reunoissa nähtävät ohuemmat kohdat ovat urat, joita myöten kiinnitin ohjataan niittauskoneeseen.

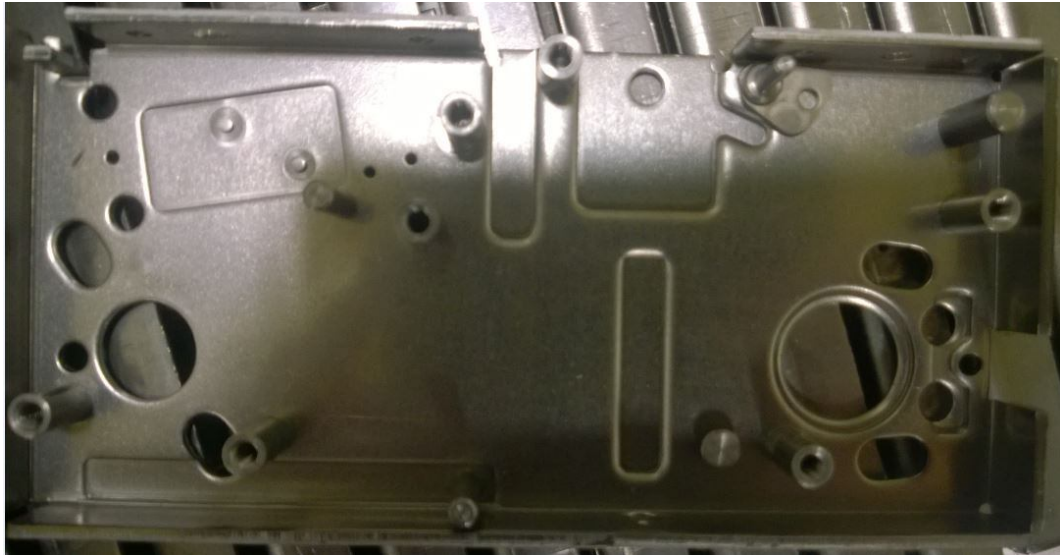


Kuva 8. Kiinnitin. (Kuva: Saukkonen 2014.)



## 7 Tuotteet

Niittaustyövaiheessa valmistetaan lähinnä lukkopesiä ja vetolevyjä. Lukkopesiä on kotelomaiseksi taivutettu ohutlevytuote johon niitataan erilaisia tappeja. Lukkopesiin kuuluu 6–12 tappia.



Kuva 9. Lukkopesiä. (Kuva: Saukkonen 2014.)

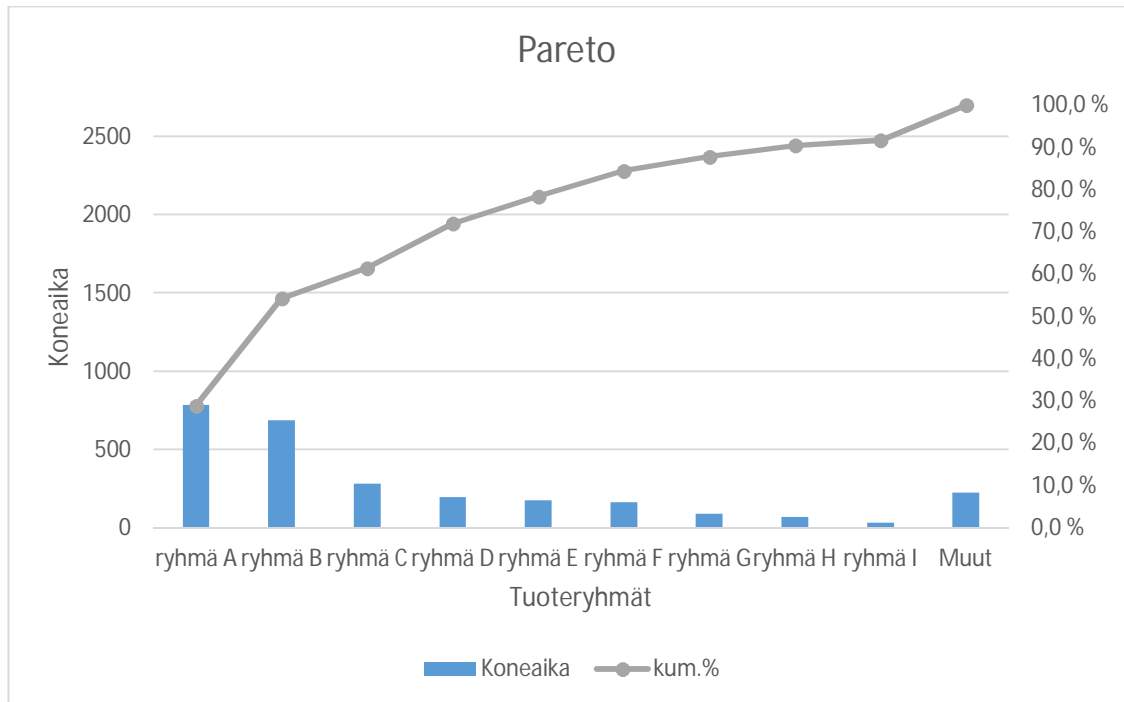
Vetolevyihin kuuluu itse vetolevyn lisäksi vain yhdestä kolmeen niitattavaa osaa. Tästä johtuen vetolevyjen koneajat ovat huomattavasti lyhempiä kuin lukkopesien.

### 7.1 Tuotteiden lajittelu

Valittaessa tuotteita robotisoidulle niittauskoneelle on tärkeää saada juuri oikea kuorma. Mikäli tuotteiden yhteiskuorma on liian pieni, voi kone joutua seisoamaan ilman tuottavaa työtä, mikä laskee sen käyttöastetta. Toisaalta, mikäli tuotteita valitaan liian paljon, ei koneella ehditä tuottamaan tuotteita riittävän nopeasti kokoonpanon tarpeisiin nähden. Tästä syystä joudutaan jättämään mahdollisesti sarjoja kesken, mikä lisää keskeneräistä tuotantoa ja laskee läpäisyäikää. Lisäksi joudutaan tekemään enemmän asetuksia. Asetusten aikana kone ei tee asiakkaalle arvoa lisäävää työtä, vaan hukkaa, jota tulisi vähentää. Lisäksi koneelle voidaan turhaan suunnitella ja valmistaa erilaisia tarttujia ja muita oheislaitteita. Tarkoituksen mukaista olisi siis suunnitella koneelle sopiva

kuorma siten, että tuotteet olisivat mahdollisimman samankaltaisia. Esimerkiksi joidenkin tuotteiden lukkopesissä erona on vain lukkopesän leveys. Näin ollen nämä tuotteet voidaan valmistaa lähes samalla asetuksella, vain ohjelman pisteitä muuttamalla. Joissakin lukkopesissä on automaation kannalta hankalia osia, joita lajitteluvaiheessa tulee nostaa esiin ja pyrkiä kehittämään niitä sopivammaksi robotisoidulla koneella valmistusta ajatellen.

Tuotteiden lajittelun aluksi listasin tuotteet koneajan mukaan suurimmasta pienimpään. Koneajankäyttö lajittelussa on parempi vaihtoehto kuin volyymin, koska koneaika ottaa huomioon myös kappaleen valmistukseen kuluneen ajan. Tuotteiden koneajanarvoina käytin viimeisen 12 kuukauden aikana valmistettujen tuotteiden kokonaiskoneaikoja. Listalle tuli 34 nimikettä 123 nimikkeestä. Listasta pois jääneiden nimikkeiden koneajat ovat niin pieniä, ettei niiden valmistaminen robotisoidulla koneella ole järkevää. Seuraavaksi valikoin listalla olevista tuotteista samoja osia sisältävät tuotteet omiksi ryhmiksi. Yhdeksästä muodostuneesta ryhmästä lähdin selvittämään, mitä ryhmiä yhdistämällä saataisiin riittävä koneaika ja ryhmien väliset osat olisivat mahdollisimman samankaltaiset. Samankaltaiset osat voidaan syöttää samoilla syöttölaitteilla ja näin vähentää robotille vaadittavien syöttölaitteiden määrää. Alla olevasta kuviosta huomataan, että viisi ensimmäistä ryhmää muodostavat noin 80 % kokonaiskoneajasta. Näistä viidestä ryhmästä lopullisesti robotisoitavalle koneelle valikoin ryhmät A, B, D ja E.



Kuvio 1. Pareto-diagrammi tuoteryhmistä

Näissä ryhmissä on yhteensä 16 lukkopesää eli noin 13 % kaikista nimikkeistä. Yhteiskoneaika nimikkeillä on 1845,9 tuntia, kun kaikkien nimikkeiden kokonaiskoneaika on 2715,2 tuntia, saadaan ryhmät kattamaan koneajasta 67,9 %.

## 7.2 Ryhmä B

Ryhmä B on koneajaltaan toiseksi suurin ryhmä, se kuluttaa kokonaiskoneajasta noin 25,3 %. Ryhmään kuuluu kolme lukkopesää, joista B1 on merkittävin koneajalla mitattuna.

### 7.2.1 B1

Tuotantosolun suurin yksittäinen tuote sekä volyymiltaan että koneajaltaan on B1-lukkopesä. Sen koneaika on lähes kolmikertainen seuraavaksi suurimpaan lukkopesään nähden ja se kuluttaa kokonaiskoneajasta noin 24 %. Lukkopesään niitataan seitsemän erilaista osaa:

-ruuvitappi,

- erikoisruuvitappi,
- tappi,
- jousentappi,
- niveltappi,
- actiontappi,
- actionlevy,
- mikrontappi (ei vielä tuotannossa).

Automaation kannalta hankala näistä on actionlevy. Sen asettaminen kiinnittimeen voi muodostua ongelmaksi, koska se pitää pujottaa levyn alareunassa olevasta reiästä actiontapin päähän. Lisäksi sen loppuosa sopii kiinnittimeen vain yhdellä tavalla. Siksi olisikin kannattavaa vaihtaa actiontappi ja -levy B2-lukkopesässä käytössä olevaan actionpalaan ja erilaiseen actiontappiin. Mikäli actionlevy vaihdettaisiin actionpalaan, jäisi samalla B1-lukon niittaustyövaiheesta yksi osa kokonaan pois, koska actionpala laitetaan paikalleen vasta kokoonpanovaiheessa. Lisäksi actiontappi olisi samanlainen kuin B2 ja ne voitaisiin syöttää samalla syöttölaitteella.



Kuva 11. Actionlevy ja actionpala. (Kuva: Saukkonen 2014.)

Lisäksi tämän lukkopesän automatisointia helpottaisi, jos erikoisruuvitapin kierereikää pidennettäisiin ja tällä tapilla korvattaisiin ruuvitappi. Muutos ei vaikuttaisi A1-lukkopesään, vaikka kyseisessä pesässä käytetäänkin samaa ruuvitappia, sillä nämä kaksi tappia voidaan syöttää samalla laitteella.



Kuva 12. Ruuvitappi ja erikoisruuvitappi. (Kuva: Saukkonen 2014.)

Toinen automaatiota helpottava muutos on niveltapin korvaaminen A1-lukkopesässä käytettävällä tukitapilla. Samalla jouduttaisiin muuttamaan myös B1, B2 ja B3 lukkokansiin pienemmät reiät, joihin tukitapin päät asettuisivat. Toisaalta muutos voidaan tehdä myös niin, että tukitappi korvataan niveltapilla. Silloin joudutaan muuttamaan kolmen lukkokannen sijaan kuusi. Mikrontappi ei ole vielä käytössä tuotannossa, mutta on tulossa kokeiluun.



Kuva 13. Niveltappi ja tukitappi. (Kuva: Saukkonen 2014.)

### 7.2.2 B2

B2-lukkopesän ainoat eroavaisuudet B1-lukkopesään niittauksen kannalta ovat mikrontappi, actionlevy ja actiontappi. Mikäli actionlevy ja actiontappi kuitenkin muutetaan samanlaisiksi, eivät lukot eroa enää tappien osalta muuten kuin mikrontapin osalta.

### 7.2.3 B3

B3-lukkopesän actionosat ovat samat kuin B1-lukkopesässä ja siksi tuleekin harkita samaa muutosta kuin B1-lukkopesässä. Muutoksen toteutuessa ei lukkopesä eroa B2-lukkopesästä muuten kuin pesälevyn, tappien paikkojen ja lukumäärän osalta. Automaation kannalta lukkopesälevy on hankala koska, nykyisessä valmistus vaiheessa pesät eivät aina mene kiinnittimeen pelkästään painamalla paikalleen, vaan työntekijät joutuvat avustamaan niiden kiinnitystä vasaralla. Tämän välttämiseksi osalle pitäisi tehdä joitakin muutoksia tuotannon aikaisemmissa työvaiheissa, jotta lukkopesälevyn laatu olisi tasaista ja riittävää automatisointia varten.

## 7.3 Ryhmä A

Ryhmän A lukkojen yhteiskoneaika on 29 % kokonaiskoneajasta. A1-lukkopesiä valmistetaan viittä eri kokoa riippuen karaetäisyydestä. Kaksi suurinta kokoa 80 ja 100 millimetrin valmistetaan kuitenkin niin vähän, ettei niiden valmistus robotisoidulla koneella ole kannattavaa. Sen sijaan 50, 55 ja 60 millimetrin lukkopesistä kullakin on melko suuri koneaika, yhteensä noin 17 % kokonaiskoneajasta. Lisäksi nämä kolme lukkopesää eroavat toisistaan vain pesän leveydessä, joten asetus voidaan pitää samana vaihtamalla vain ohjelmaa tai sen pisteitä. A1-lukkopesiin niitataan seuraavia tappeja:

-ruuvitappi,

-holkki A1,

-kiilan rullatappi,

-holkki,

-takalukit, laakeritappi,

-laakeritappi,

-jousenvastinlevy,

-rajoitintappi A1,

-tappi 8120,

-tukitappi.

Tapeista automaation kannalta hankalin osa on jousenvastinlevy, sillä muut osat ovat sylinterimäisiä, joten se voi vaatia oman tarttujan kulmikkaan tartuntapinnan vuoksi. Lisäksi kappaleen syöttöä ajatellen sen orientointi on hankalaa, sillä levyn molemmat tasapinnat eivät ole samanlaiset, vaan irrotuspuoli on hieman kupera ja sen pitää tulla pois päin lukkopesän keskustasta. Lisäksi vastinlevyn päässä oleva nasta on toiselta puolelta pidempi ja ohuempi kuin toinen. Näin ollen kappaleen laittaminen kiinnittimeen on mahdollista vain yhdellä tavalla. Jousenvastinlevy voitaisiin korvata sylinterimäisellä tapilla, jossa olisi ura, johon jousenohjain voitaisiin kiinnittää, mutta tämän muutoksen esteinä ovat jousenohjaimen hankala valmistettavuus muutoksen jälkeen. Lisäksi anturilevyä tulisi muuttaa hieman, jotta uusi tappi sopisi paikalleen.



Kuva 14. Jousenvastinlevy. (Kuva: Saukkonen 2014.)

Holkin toisessa päässä oleva ohut ura voitaisiin lisätä kappaleen molempiin päihin. Kun kappale on symmetrinen, sen syöttäminen on robotille helpompaa, koska se voidaan laittaa kiinnittimeen molemmin päin.



Kuva 15. Holkki. (Kuva: Saukkonen 2014.)

### 7.3.1 A2

A2-lukkopesä eroaa A1-lukkopesästä kahden tapin verran. A2-lukkopesästä puuttuu tukitappi ja siihen on lisätty tulppaanintappi. Tulppaanintappi ei ole varsinaisesti hankala kappale automaattisen syötön kannalta, mutta niitä ei ole käytössä kuin kahdessa lukkopesässä, joten oman syöttölaitteen suunnittelu ei välttämättä kannata.

### 7.3.2 A3

A3-lukkopesiä on myös viittä erilaista. Tässäkin tapauksessa suurimpia kokoja 80 ja 100 millimetrin valmistetaan liian vähäisiä määriä, jotta ne olisivat kannattavia robotisoidulle koneelle. Muut koot 55, 60 ja 65 millimetriä käyttävät yhteensä noin 7 % kokonaiskoneajasta. Tappien osalta A3-lukkopesät ovat täysin samanlaisia A1-lukkopesien kanssa ainoana erona lukkopesälevyt.



### 7.3.3 A4

A4-lukkopesän kokonaiskoneaika on alle prosentin luokkaa, mutta samanlaisten tappiensa vuoksi on kannattavaa valmistaa robotisoidulla koneella. Tapit eroavat A2-lukkopesästä siten, että A4-lukkopesästä puuttuu jousenvastinlevy, rajoitintappi ja tappi 8120.

## 7.4 Ryhmä D

Ryhmään D kuuluu vain yksi lukkopesä D. Tähän lukkopesään tulee vain kolme erilaista tappia, ja sen koneaika on toiseksi suurin yksittäisistä lukkopesistä (7 %). Tapit ovat:

-ruuvitappi,

-keskitappi Ø7,

-safetappi.

Ongelmia automaation kannalta tuottaa lukkopesälevy, jonka paikalleen laittamisessa tarvitaan avuksi vasaraa. Näin ollen tämänkin lukkopesän osalta pitää tarkastella aiempia tuotannon vaiheita, jotta lukkopesät saataisiin helpommin paikalleen. Muista pesistä poiketen D-lukkopesät on pintakäsitelty jo ennen niitusta, ja siksi tapit ovat ruostumatonta terästä. Oma syöttölaite joudutaan hankkimaan vain keskitappi Ø7. Kyseisen tapin symmetriseksi tekemistä hankaloihtaa tapin toisessa päässä oleva laakerisovite, jonka toleranssin vaihteluväli on 0,005 millimetriä. Ongelmaksi tulee kappaleen molempien päiden riittävän tarkka valmistus ja tästä johtuen kappaleen kustannukset nousevat.

## 7.5 Ryhmä E

Tähän ryhmään kuuluu neljä lukkopesää. E1- ja E2-lukkopesiä kumpaakin kahden eri kokoa. Ryhmän yhteiskoneaika on 6,5 % kokonaiskoneajasta. Tämä ryhmä on ikään kuin täyteryhmänä, mikäli neljän edellisen ryhmän tuotteilla ei saa-

da aikaan riittävää kuormaa. Täydennysryhmäksi E on hyvä, sillä siihen tulevista tapeista suurin osa pystytään syöttämään samoilla laitteilla kuin edellisissä ryhmissä.

E1-lukkopesää valmistetaan kahta eri kokoa 29 ja 35 millimetriä. Erilaisen lukkopesälevyn lisäksi 35 millimetrin lukkopesään tulee yksi tappi enemmän. Kyseisten lukkopesien valmistukseen käytetään seuraavia tappeja.

-ruuvitappi,

-rosetteholkki,

-jousentappi,

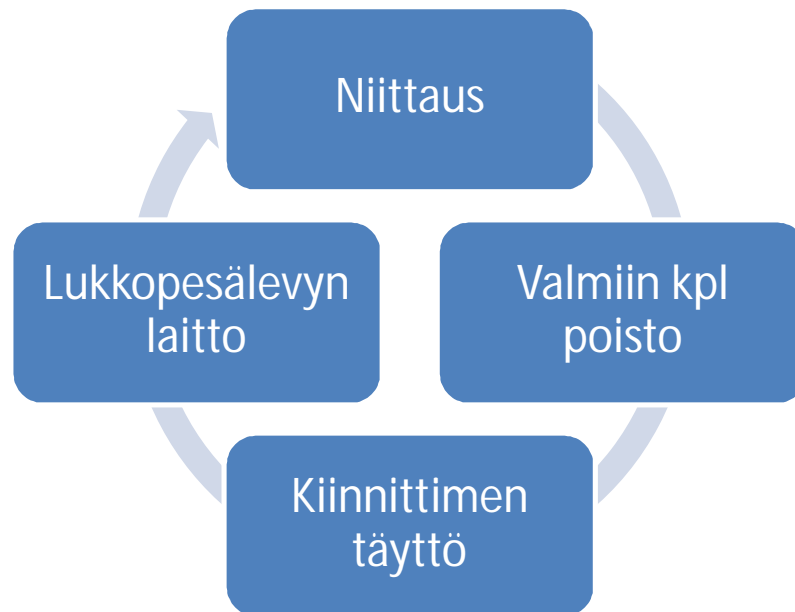
-ohjaustappi,

-laakerintappi. (vain 35mm lukkopesään)

Automaation kannalta tapit eivät muuten ole ongelmallisia, mutta koska ohjaustappia ja laakeritappia käytetään niin vähän, ei niille kannata valmistaa omia syöttölaitteita, vaan panostaa käsin palettiin. E2-lukkopesää on kahta kokoa ja ne eivät eroa toisistaan kuin lukkopesälevyn osalta. E2-lukkopesiin käytetään samoja tappeja kuin edeltäviin E1-lukkopesiin, poislukien laakerintapin.

## 8 Työkierto

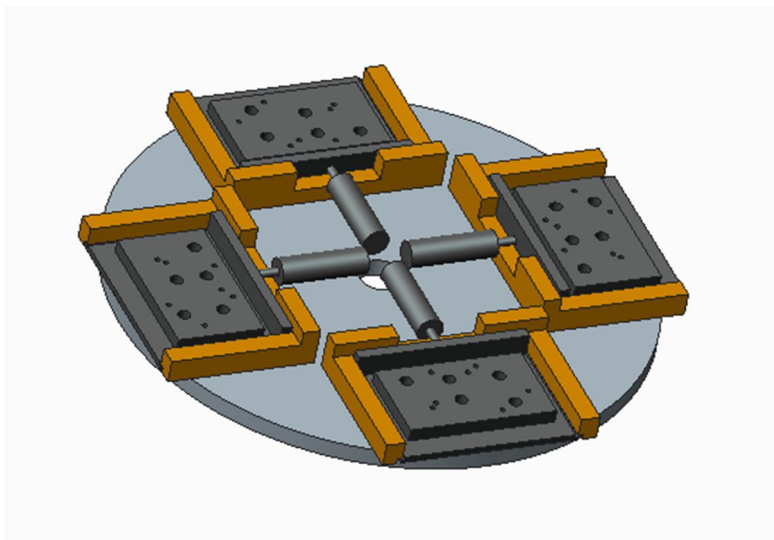
Työkierron ensimmäisessä vaiheessa robotti täyttää kiinnittimen niitattavilla tapeilla. Pyöräpöydän seuraavassa kohdassa robotti lisää täytetyn kiinnittimen päälle lukkopesälevyn. Kolmannessa paikassa syötetään kappale niittauskoneeseen ja odotellaan niittauskoneen työkierto loppuun. Neljännessä vaiheessa manipulaattori tarraa kappaleeseen ja pudottaa sen valmiiden kappaleiden laattikkoon.



Kuva 16. Työkierron kuvaus. (Kuva: Saukkonen 2014.)

Jokainen yllä esitetty vaihe tehdään yhtä aikaa, ja kun jokainen vaihe on valmis, pyörähtää pyöröpöytä neljänneskierroksen ja kaikki vaiheet alkavat uudelleen. Tahti määräytyy siis hitaimman työvaiheen mukaan.

Pyöröpöytään valmistetaan urallinen asemointipaikka, josta kiinnitin liu'utetaan niittauskoneeseen. Kiinnintä työntävä toimilaite voi olla esimerkiksi sylinteri. Sylinterillä siirtämistä varten niittauskoneen työkierron aloituspistettä olisi hyvä siirtää lähemmäksi pyöröpöytää, jotta sylinterillä työnnettävä matka ei ole liian pitkä. Kuvassa 17 nähdään asemointipaikkojen ja sylinterien asettelu.



Kuva.17 Pyöröpöytä. (Kuva: Saukkonen 2014.)

Robotisoidun koneen kiinnittimen täyttöaikaa voidaan arvioida käyttämällä robotin valmistajan antamia standardi- ja pidennetyn työkierron aikoja. Esimerkkikappaleena toimii B1-kiinnittimen täyttöaika.

Voidaan olettaa, että matka kiinnittimeltä kunkin tapin luo on noin 300 millimetriä. Lisäksi robotin tekemä poimimisliike vertikaalisesti on noin 50 millimetriä. Liikematkojen lisäksi tulee ottaa huomioon tarttujan sulkeutumis- ja avautumisajat. Pesälevyä varten robotin pitää vaihtaa tarttujaa ja tähän kuluva aika tulee ottaa myös huomioon. Lisäksi levyä voidaan joutua odottamaan joitakin sekunteja.

Yksittäisen tapin hakemiseen syöttölaitteelta kuluu 0,88 sekuntia. B1-lukkopesään kuuluu 12 tappia ja lukkopesälevy. Näiden hakemiseen kuluva aika on siis noin 11,5 sekuntia. Tarttujen avautumis- ja sulkeutumisajat vaihtelevat 0,01–0,05 sekuntiin. Kyseisen lukkopesän osalta tarttujen liikkeisiin kuluu aikaa noin 0,75 sekuntia. Tarttujan vaihtoihin siirtoineen kuluu noin 12 sekuntia ja pesälevyä voidaan joutua odottamaan jopa 10 sekuntia. Edellä mainituista ajoista saadaan yhteisajaksi noin 34,25 sekuntia. Kyseinen täyttöaika ei ole tarkka, mutta antaa suuntaa-antavan arvon.

## 8.1 Kiinnittimen täyttö

Robotti hakee kappaleet syöttölaitteilta ja asettaa ne niille sopiviin paikkoihin kiinnittimessä. Mikäli jostakin syystä jotakin kappaletta ei löydy noutopisteestä tai robotti ei tunnista kappaletta tarttujassa, laite pysähtyy ja antaa hälytyksen. Tappien tartuntapinnan koko ja muoto vaihtelevat, tästä syystä joudutaan käyttämään useita erilaisia tartuntaelimiä. Tarttujassa on rinnakkain kolme erilaista sormiparia, jokaisella näistä on erikokoinen tai -muotoinen tartuntapinta. Tällä ratkaisulla vältetään kiinnittimen täyttövaiheen aikaisilta tarttuvaihdoilta ja voidaan näin ollen täyttää kiinnitin nopeammin. Tämän tarttujan heikkona puolena on sen paino verrattuna yksittäiseen sormipariin. Siirreltävät kappaleet ovat kuitenkin niin kevyitä, ettei robotille tule ongelmaa hyötykuorman tai paikoitustarkkuuden kanssa.



Kuva 18. Rinnakkaistarttuja, jossa kolme sormiparia rinnan. (Kuva: Saukkonen 2014.)

Robotiksi valittiin rinnakkaisrakenteinen robotti. Kyseisiä robotteja on tarjolla useilla eri valmistajilla. Valinta perustellaan rinnakkaisrakenteisen robotin nopeudella verrattuna nivelvarsirobottiin, ja tähän käyttöön scaraa sopivammalla

työalueella. Laskelmia varten esimerkkirobotiksi valittiin Adept Quattro s800H. Kyseisen robotin teknisiä tietoja esitellään alla olevassa taulukossa (taulukko 1).

Taulukko.1 Adept Quattro s800H teknistä tietoa. Adept (2012).

| akselit | hyötykuorma | työalue<br>(halkaisija) | työalue<br>(korkeus) | toistotarkkuus<br>(yksisuuntainen) | nopeus<br>(max) | kiihtyvyys<br>(max) |
|---------|-------------|-------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------|---------------------|
| 4       | 2kg         | 800mm                   | 500mm                | +/- 0.15mm                         | 10m/s           | 120m/s <sup>2</sup> |

### 8.1.1 Tarttujien suunnittelu

Rinnakkaistarttujalla täytettäessä kiinnitintä tulee ottaa huomioon se, että tarttuja voi tönäistä tai törmätä joihinkin jo paikalleen laitettuihin tappeihin. Tästä syystä tulee miettiä etukäteen, missä järjestyksessä tappeja laitetaan. Myös kiinnittimeen voidaan joutua tekemään joitakin muutoksia, jotta tarttuja mahtuu työskentelemään. Syöttölaitteiden tappien noutopaikat tulee myös suunnitella siten, ettei se häiritse tarttujaa, eikä törmäys riskiä synny. Kappale analysoitaessa tapit lajiteltiin samankaltaisiksi tartuntahalkaisijan ja tartuttavan muodon perusteella, jonka jälkeen jokaiselle näistä tappiryhmistä suunniteltiin omat tarttumat.

### 8.1.2 Tarttuja 1

Ensimmäistä tarttujaa käytetään kappaleista suurimman osan siirtoon, kappaleille yhteistä on neljän millimetrin tartunta kohdan halkaisija. Tapit ovat geometriseltä muodoltaan sylinterimäisiä, tällaiset tapit saadaan keskitettyä muotoilemalla tarttujan kynteen v-prismaattinen ura. (Aalto.ym.1999,61). Painavin kappaleista on niveltappi 3,35 grammaa joten tarttujan valintaa varten tarvittava puristusvoima pitää laskea tämän perusteella.

$$F_G = \frac{m(g + a)}{2\mu} \sin \alpha \cdot S$$

$F_G$  = puristusvoima

$m$  = massa

$g$  = gravitaatiokiihtyvyyys

$a$  = robotista aiheutuvat kiihtyvyydet

$\mu$  = kitkakerroin

$\alpha$  = puolet v-uran pohjan kulmasta

$S$  = varmuusluku

Kitkakerroin vaihtelee sovellutusten välillä, Hessen (2004, 46) mukaan metalli/metalli kosketuspintojen kitkakerroin vaihtelee välillä 0,2-0,5.

$$F_G = \frac{0.00335kg(9.8 \frac{m}{s^2} + 240 \frac{m}{s^2})}{2 \cdot 0.2} \sin 45 \cdot 2$$

$$F_G = 3N$$

Tarvittava puristusvoima ei siis ole huomattavan suuri. Esimerkkitarttujaksi valittiin Schunkin MPG 25 tarttuja, joka on tarkoitettu pienten kappaleiden käsitteilyyn. Tarttujan puristusvoima on 31 Newtonia ja sen sormien iskunpituus sormeä kohti on kolme millimetriä, painoa tarttujalla on 60 grammaa ja sen toistotarkkuus on 0,02 millimetriä. (Schunk 2014, 17). Tarttujaan muotoiltavien kynsien paksuus on 5,5 millimetriä ja uranpohjan kulma on 90 astetta.

### 8.1.3 Tarttuja 2

Toisella tarttujalla siirreltävät kappaleet ovat myös sylinterimäisiä, mutta niiden tartuntakohdan halkaisija on noin kolme millimetriä. Painavin siirrettävistä kappaleista on ohjaustappi, joka painaa noin 3,4 grammaa.

$$F_G = \frac{m(g + a)}{2\mu} \sin \alpha \cdot S$$

$$F_G = \frac{0.0034kg(9.8 \frac{m}{s^2} + 240 \frac{m}{s^2})}{2 \cdot 0.2} \sin 40 \cdot 2$$

$$F_G = 2,8N$$

Tarttujan tarvittava puristusvoima ei ole merkittävän suuri, joten tarttujaa valittaessa on tärkeämpää löytää mahdollisimman pieni tarttuja riittävällä sormienliike matkalla. Schunkin MPG 20 tarttuja sopii tähän tarkoitukseen hyvin. Tarttujaan muotoillaan kynnet, joiden paksuus on 4,5 millimetriä. Toiseen kynsistä muotoillaan ura, jonka pohjan kulma on 80 astetta. Tarttujan maksimiliikematka sormea kohti on 2 millimetriä ja painoa sillä on 38 grammaa. (Schunk 2014, 30).

### 8.1.4 Tarttuja 3

Kolmas tarttuja siirtää holkkeja, joiden halkaisijat ovat huomattavasti suurempia kuin edellisten, suurimmillaan noin 11 millimetriä. Holkkien geometrinen muoto mahdollistaisi myös sisäpuolisen tartunnan, mutta toisaalta holkkien keskireiät ovat melko pieniä, eikä puristusvoima nouse niin suureksi, että siitä olisi vaaraa holkin rakenteelle. Näistä syistä voidaan käyttää ulkopuolista tartuntaa. Painavin holkeista painaa noin 4,22 grammaa.

$$F_G = \frac{m(g + a)}{2\mu} \sin \alpha \cdot S$$

$$F_G = \frac{0.00422 \text{ kg} (9.8 \text{ m/s}^2 + 240 \text{ m/s}^2)}{2 \cdot 0.2} \sin 50 \cdot 2$$

$$F_G = 4 \text{ N}$$

Puristusvoiman tarve on pienehkö verrattuna tarvittavaan sormien liikealueeseen. Näin ollen voidaan valita pienin tarttuja riittävällä iskunpituudella. Tarttujaksi sopiva on Schunk MPG 40, jonka iskunpituus sormea kohti on kuusi millimetriä, painoa tarttujalla on 120 grammaa. (Schunk 2014, 42).

### 8.1.5 Tarttuja 4

Neljäs tarttuja siirtää vain kahta kappaletta, näiden kappaleiden tartuntahalkaisija on vain noin kahden millimetrin luokkaa. Painavampi kappale painaa vain noin 0,4 grammaa, joten tarttujaa valittaessa on oleellisempaa valita mahdollisimman kevyt tarttuja.



$$F_G = \frac{m(g + a)}{2\mu} \sin \alpha \cdot S$$

$$F_G = \frac{0.0004kg(9.8m/s^2 + 240m/s^2)}{2 \cdot 0.2} \sin 35 \cdot 2$$

$$F_G = 0,3N$$

Tarttujaksi valikoitui MPG 16. Sen sormien iskunpituus on 1,5 millimetriä sormea kohti. Painoa tarttujalla on 25 grammaa. (Schunk 2014, 26). Kynnet ovat 3,5 millimetriä paksut ja niihin muotoiltavan uran pohjan kulma on 70 astetta.

### 8.1.6 Tarttuja 5

Tällä tarttujalla siirrettävä kappale on muista kappaleista poiketen levymäinen. Jousen vastinlevy painaa noin 2,18 grammaa. Poikkeavan geometrian vuoksi puristusvoiman laskukaavasta jää pois v-uraan liittyvät kulmamitat.

$$F_G = \frac{m \cdot (g + a)}{n \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_G = \frac{0.00218kg \cdot (9.8 + 240m/s^2)}{2 \cdot 0.2} \cdot 2$$

$$F_G = 2,8N$$

Tarttujaksi valittiin MPG16 tarttuja. Siihen muotoiltaviin kynsiin tulee omat urat kappaleelle. Kappale uppoaa noin puoliväliin asti tarttujan sisään. Näin se saadaan siirrettyä suorassa kiinnittimille.

Painavin tarttujayhdistelmä painaa yhteensä 218 grammaa, kun tähän lisätään vielä tarttujan rungon paino, joka on noin 500 grammaa. Edellä mainittujen lisäksi painoa kasvattaa johdotukset, paineilmaletkut, kynnet ja mahdolliset lisälaitteet. Edellä mainitut asiat huomioonottaen tarttujalle kertyy yhteispainoa 1–1,5 kilogrammaan, näin ollen esivalitulle robotille ei tule ongelmia suoriutua tämän kuorman siirtämisestä.

## 8.2 Tappien syöttö

Tappien syöttöä varten joudutaan hankkimaan useita syöttölaitteita, koska kaikkia tappeja eri sarjojen välillä ei pystytä syöttämään samoilla laitteilla. Syöttölaitteina käytetään tärymaljoja, annostelijoita ja hihnakuljettimia. Tärymalja on kappaleen käsittelylaite, joka kuljettaa ja kääntää kappaleet samansuuntaisesti tärynän avulla. Tärymaljat ovat vaikeita säätää ja vaativat ammattitaitoa, mistä johtuen niitä ei pystytä säätämään asetuksen yhteydessä uudelleen täysin erilaisia tappeja varten. B1-lukkopesän huomattavan suuren volyymin vuoksi syöttölaitteet valittiin niin, ettei kyseistä lukkopesää valmistettaessa jouduta panostamaan tappeja käsin.

Ensimmäinen syöttölaite on tärymalja, jolla syötetään erilaiset ruuvitapit ja erikoisruuvitappi. Ruuvitapit eroavat vain vähän toisistaan ja niiden syöttäminen samalla laitteella pitäisi onnistua. Ruuvitappeja käytetään kappalemääräisesti eniten, ja siksi olisi hyvä saada niiden syöttö robotille mahdollisimman nopeaksi. Tästä syystä olisi hyvä sijoittaa syöttölaite mahdollisimman lähelle kiinnitintä, jolloin robotin siirtomatka jää lyhyeksi.

Toisella laitteella syötetään jousentappi ja rajoitintappi. Syöttölaitteena toimii tärymalja, joka kuljettaa kappaleet makuuasennossa tärymaljan reunalle ja pudottaa ne pystyyn kappaleille sopivaan reikään, jota liikutetaan robotin luo. Kappaleen noutopaikassa tulee olla anturi, jonka avulla tiedetään, onko kyseisessä kohdassa kappaletta. Mikäli kappaletta ei ole, kuljetin pyöräyttää seuraavan kappaleen. Lisäksi anturoinnin avulla tulee tahdittaa laitetta niin, että kappalepuskurin täytyessä tärymalja kytkeytyy pois päältä.

Kolmannella laitteella syötetään sappi ja safetappi. Tärymalja kääntää kappaleet niin, että sienenmuotoinen tappi seisoo lakkinsa päällä ja näin ollen siihen voidaan tarttua suoraan ylhäältä. Tässäkin syöttölaitteessa anturilla valvotaan kappalepuskuria ja tarvittaessa sammutetaan tärymalja.

Neljäs tärymalja syöttää niveltappeja tai tukitappeja riippuen siitä, toteutuuko aiemmin mainittu muutos. Mikäli muutos ei toteudu, täytyy tukitappia varten suunnitella oma syöttölaite. Lisäksi, mikäli pisimpien ruuvitappien syöttäminen ensimmäisellä laitteella ei onnistu, voidaan se tehdä tällä laitteella.

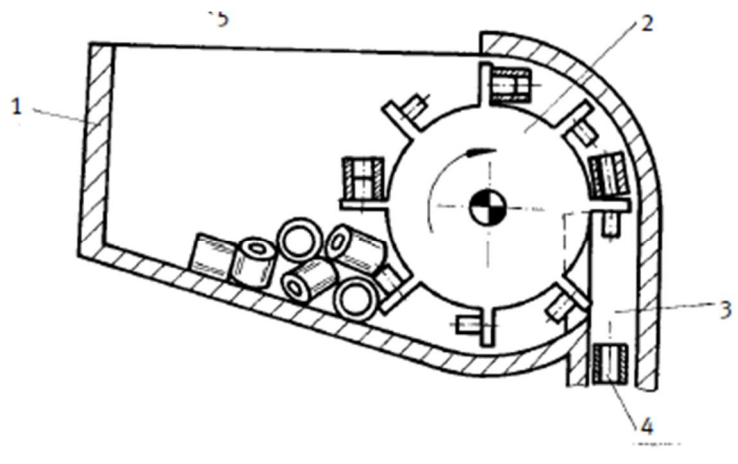
Viides tärymalja syöttää actiontappia kyljellään ohuempi pää edessä eteenpäin ja pudottaa sopivaan reikään kuljettimella, jossa se jatkaa matkaa kohti noutopistettä. Mikäli actionlevyn vaihtaminen actionpalaan ei onnistu, voidaan myös toinen actiontappi syöttää tällä samalla laitteella. Lisäksi, jos mikron tappi otetaan käyttöön, joudutaan sitä varten hankkimaan samanlainen laite kuin actiontapille.

Holkki A1 ja rosetteholkki ovat symmetrisiä molemmista päistä ja tämän takia ei ole merkitystä, kumpi pää edellä kappaleet asetetaan kiinnittimeen. Tästä syystä syöttölaitteena voidaan käyttää suppilomaista kuilua, jossa kappale tippuu putkeen, jossa pysäyttimenä on levy. Aina, kun kappaleita tarvitaan lisää, avataan levy ja kappaleet pääsevät putoamaan ohjaustappiin, jota ohjataan kuljetimilla kohti noutopistettä.

Holkki ei tällä hetkellä ole symmetrinen, mutta mikäli aikaisemmin mainitsemani muutos tehdään, niin kappaleesta tulee symmetrinen. Tällöin se voidaan syöttää kuilun avulla, kuten Holkki A1. Holkit voidaan syöttää myös sellaisen kuilun avulla, jossa on sisällä kuvan mukainen pyörivä annostelu laite. Tällä ratkaisulla on helpompi rytmittää kappaleiden syöttöä robotille.

**Example 5:  
Scoop-wheel bin**

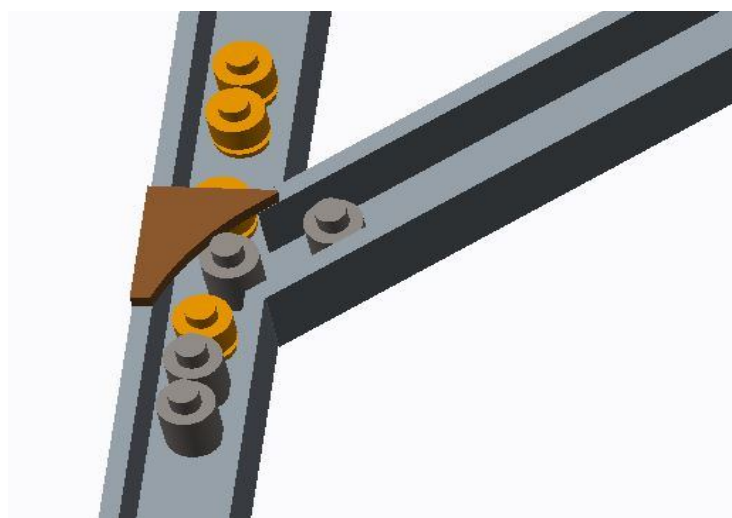
- 1 Bin
- 2 Scoop wheel
- 3 Gravity shaft
- 4 Workpiece



Kuva 19. Kauhapyöräannostelija (Kuva: Stefan Hesse 1999).

Kiilan rullatappi on myös symmetrinen ja se syötetään samaan tapaan kuin holkki A1. Tässä syöttölaitteessa kappale putoaa tapin sijasta reikään, jota kuljetetaan robottia kohti.

Tappi 8120 ja takalukituslaakeritappi voidaan syöttää samalla laitteella siten, että tärymalja syöttää kappaleita pystyssä eteenpäin ja kuljettimella oleva ohjauslevy ohjaa pidemmän tapin vieressä kulkevalle toiselle kuljettimelle. Samalla lyhyempi tappi jatkaa matkaansa samalla kuljettimella suoraan ohjauslevyn alitse.



Kuva 20. Tappi 8120 ja takalukituslaakeritapin erottelun periaate. (Kuva: Saukkonen 2014.)

Keskitappi  $\varnothing 7$  syötetään omalla laitteella, sillä sitä kuluu vuoroa kohden suuria määriä, koska muista lukkopesistä poiketen D-lukkopesää niitataan kaksi kappaletta yhden työkierron aikana. Tärymalja syöttää kappaletta kyljellään kuljettimelle, jossa anturi tarkastaa kappaleen orientoinnin. Laakerisovite edellä menevät kappaleet pääsevät jatkamaan matkaa, kun taas toisinpäin olevat tiputetaan takaisin tärymaljaan. Oikein päin liikkuvat kappaleet pudotetaan pystyasennossa putkeen, jossa on pysäytin. Pysäyttimen avulla rytmitetään kappaleiden syöttöä robotille. Putkilosta kappale tiputetaan yksi kerrallaan sille sopivaan koloon kuljettimella, joka kuljettaa ne kohti noutopistettä.

Loput tapit, joiden kulutus on vähäinen tai ne ovat hankalia automaation kannalta, syötetään käsin palettiin, jonka kuljetin vie koneelle. Näitä kuljettimia tarvitaan useita, sillä hankalimpiin tuotteisiin joudutaan syöttämään useita eri tappe-

ja käsin. Paletit täytetään vuoron alussa panostuksen yhteydessä siten, että koneella on odottamassa muutamia paletteja valmiina. Näin työntekijä voi keskittyä toisen niittauskoneen käyttöön ja täyttää paletit niiden lähes tyhjennyttyä. Käsisyötettäviksi jäävät tapit:

- laakeritappi
- jousenvastinlevy
- tulp.tappi
- ohjaustappi
- laakerintappi.

### **8.3 Lukkopesän syöttö**

Lukkopesät tulevat edellisestä työvaiheesta täysin sekalaisessa järjestyksessä. Kappaleiden syöttö robotille voidaan toteuttaa erilaisten makasiinien avulla. Huonona puolena tässä ratkaisussa on kappaleiden järjestelyn tarve, lisäksi kappaleita joudutaan lisäämään usein, sillä kappaleen muodon ja koon vuoksi niitä ei saada mahtumaan suuria määriä kerralla. Toinen vaihtoehto on hankkia hihnakuljetin, johon kappaleita annostellaan vain kaatamalla osat laatikkoon, josta kuljetin tuo ne lähelle robottia. Konenäön avulla robotti tunnistaa ja poimii kappaleen oikeinpäin tai orientoi sen liikkeen aikana. Robotti ei kuitenkaan kykene orientoimaan kappaletta, mikäli se kulkee kuljettimella kiinnittimeen kiinnitystä ajatellen ylösalaisin, joten näiden kappaleiden annetaan vain kulkea takaisin laatikkoon.

Lukkopesäntarttujan tulee olla keskittävä, sillä lukkopesän reikien tulee osua tappien päihin. Tappien ja levyn reikien välisiä välyksiä ja reikien paikoitustarkkuutta tulee tarkkailla ja tarvittaessa muuttaa sopivaksi robotin paikoitustarkkuuden suhteen. Lisäksi, mikäli tartunta tehdään lukkopesälevyjen päissä olevista taivutetuista pinnoista, tulee ottaa huomioon kappaleiden taivutustarkkuuden vaihtelu. Edellä mainittujen asioiden lisäksi toleranssiketjuun vaikuttavat lisäksi kiinnittimen reikien ja tapin välinen välyys, kiinnittimen paikoitus pyöröpyödyssä ja tarttujan tarkkuus. Toinen vaihtoehto tartunnalle on tehdä tartunta levyssä valmiiksi olevista rei'istä tai tehdä levyyn juuri tätä tarkoitusta varten

keskitysreiät. Edellä mainitut reiät tulee kuitenkin tukkia valmiista tuotteesta, joten tämä vaihtoehto ei liene kannattava. Taivutetun reunan ja reikien paikkojen välisiä mittoja tulisi tarkkailla tilastollisesti jo ennen kuin itse robotisuunnittelua aloitetaan. Tällä tavoin voidaan tehdä mahdollisia korjauksia prosessin aikaisemmissa vaiheissa ja näin varmistaa kappaleiden riittävä laatu robotisoitua konetta varten.

#### **8.4 Kappaleen poisto**

Kappaleen poisto voidaan tehdä manipulaattorilla, joka tarttuu niitattuun pesään ja siirtää sen kappaleen poistolinjalla olevaan laatikkoon. Laatikot liikkuvat kuljettimella, joka siirtää uuden laatikon edellisen tultua täyteen. Manipulaattorin tarttuja voi olla magneetti tai imukuppi, koska kappaleen keskittäminen ei ole tässä vaiheessa enää tärkeää.

Valmiiden kappaleiden poistossa pitää ottaa huomioon seuraavan työvaiheen tarpeet. Seuraavassa työvaiheessa tarvitaan 32 pesää kiinnitintä kohti, näin ollen työvaiheeseen pitäisi toimittaa 32 kappaletta per laatikko. Nykyisiin muovilaatikoihin on vaikeaa saada mahtumaan kaikki 32 lukkopesää, siksi uutta laitetta varten tulee hankkia suuremmat laatikot. Toinen vaihtoehto on valmistaa kappaleet yhteen isoon jalkalaatikkoon, josta työntekijä lajittelee kappaleet vuoron lopuksi eteenpäin. Näistä vaihtoehdoista parempi on uudet laatikot, näin laite ei sido työntekijää niin pitkiä aikoja. Laatikoita siirtämän tulee hankkia kuljetin, joka siirtää uuden laatikon vanhan tultua täyteen. Tämän ratkaisun heikko puoli on laatikoiden varastoinnissa; laatikoita ei välttämättä saada riittävän montaa linjalle odottamaan. Tämä vähentää aikaa, jonka kone voi pyöriä itsekseen vuoron loputtua.

## **9 Robotisoinnin vaikutukset**

### **9.1 Kapasiteetti**

salattu

### **9.2 Laatu**

Nykyisellä valmistusmenetelmällä hukkakappaleita syntyy arviolta noin 1–5 kappaletta sarjaa kohti. Edellä mainittu ei ole paljoa, mutta kun sitä verrataan esimerkiksi six-sigman tavoite tasoon on se valtava. Lisäksi kappaleiden hylkääminen prosessin loppupäässä, kuten tässä tapauksessa niittauksessa tulee kalliiksi.

Hukkakappaleiden syynä ovat yleensä inhimilliset syyt. Itseään toistavassa työssä työntekijä voi unohtaa laittaa jonkin tapeista paikalleen, ja kun kappale on niitattu. Ei tappia voida enää liittää jälkikäteen. Toinen syy virheellisiin kappaleisiin ovat työvaiheeseen tulevat jo valmiiksi virheelliset osat, kuten liian naarmuuntuneet lukkopesälevyt ja tappipusseissa mukana tulleet liian lyhyet kappaleet. Ensin mainitun virheen robotisointi tulee poistamaan, sillä robotti ei unohtele asioita. Toiseen ongelmaan tulee puuttua jo aikaisemmin sillä tämä robotti ei erota naarmuuntunutta kappaletta toisesta, siksi nämä kappaleet pitäisi pystyä tunnistamaan ja poistamaan jo viimeistään taivutusvaiheessa. Syöttölaitteiden suunnittelussa pitää pyrkiä suunnittelemaan lopulliset laitteet niin, etteivät liian lyhyet kappaleet pääse robotin käytettäväksi. Edellä mainituilla toimenpiteillä suurin osa työvaiheessa syntyvistä virheellisistä kappaleista saadaan kitkettyä pois.

### **9.3 Läpäisy aika**

Salattu

## 10 Pohdinta

Työn aloittaminen oli vaikeaa varsinkin raportin kirjoittamisen osalta. Lopulta, kun kirjoittamisessa pääsi vauhtiin, alkoi se helpottua. Työn tekemisen aloitin tammikuussa 2014 ja tavoitteenani oli saada se valmiiksi kesäkuuhun 2014 mennessä. Näin ollen pysyin hyvin aikataulussa, vaikka opintomatkojen takia menetin kokonaisen kuukauden työskentelyaikaa.

Työssä esitetään yhdenlainen ratkaisu koneen robotisointia varten. Tämä ratkaisu voi toimia pohjana konetta lopulta suunnittelevalle ja valmistavalle osapuolelle, vaikkakin laitteita valmistavat yritykset yleisesti keksivät omanlaiset tekniset ratkaisut. Koko työn työläin vaihe oli tuotteiden lajittelu, jossa yritin löytää sopivaa yhdistelmää koneajan ja syöttölaitteiden määrän perusteella. Suurten erilaisten tappien määrän vuoksi jouduin paneutumaan aiheeseen pitkäksi aikaa. Lopulta kuitenkin onnistuin siinä omasta mielestäni hyvin ja sain esille koneajan sekä syöttölaitteiden määrän kannalta sopivan tuoteyhdistelmän.

Mielestäni käyttämäni menetelmät tuotteiden lajittelussa olivat hyviä sillä, jos en olisi niputtanut tuotteita ryhmiä, olisi se kestänyt todella kauan. Vaikka Pareto-diagrammi kertoo saman asian, jonka voisi laskea luettelosta, on se helpommin luettavissa ja taustalla toimiva 80/20-säännön soveltaminen tässä tapauksessa oli kannattavaa. Erilaisten tappien samankaltaisuuksia etsiessä olisi voinut toimia järjestelmällisemmin esimerkiksi tekemällä tarkemman kappaleanalyysin jo aikaisemmin kuin tarttuvia suunnitellessa.

Työn tavoitteena oli selvittää, voitaisiinko työvaiheen tuottavuutta parantaa ja olisiko työvaiheen automatisointi mahdollista. Työvaiheen robotisointi parantaa tuottavuutta huomattavasti, koska työntekijäkustannukset ovat suuri osa työvaiheeseen käytettäviä resursseja ja ne saataisiin puolitettua tällä tavoin. Lisäksi valmistuskapasiteetti todennäköisesti nousisi hieman.

Robotisoinnissa on kuitenkin suuria riskejä. Koko laitteen suuri toimilaitteiden määrä lisää epävarmuustekijöitä, niinpä laitteen lopulta suunnittelevalta ja rakentavalta osapuolelta vaaditaan kokemusta ja ammattitaitoa. Robotisoidun laitteen hankinnan yksi suurimmista riskeistä on työntekijöiden vähäinen koke-



mus ja osaaminen robottien suhteen. Robotti olisi ensimmäinen laatuaan osa-  
valmistuksen osastolla ja näin ollen sen käyttökoulutukseen on syytä panostaa,  
sillä jos koulutus ei ole riittävää, johtaa se väistämättä laatu- ja tuottavuuson-  
gelmiin. Kyseinen muutos on sen verran suuri, että muutosvastarinnan esiinty-  
minen on väistämätöntä. Tässä tilanteessa avoin tiedottaminen asioista on tär-  
keää, jotta vältetään suurelta huhujen kierteeltä ja tällä tavoin vastarinnan pa-  
henemiselta.

Mikäli työvaihetta aiotaan robotisoida, olisi tärkeää kehittää tässä työssä esiin-  
nostettuja automaation kannalta hankalia osia vähemmän hankalaan muotoon.  
Myös muita tappeja ja lukkopesiä tulisi kehittää niin, että erilaisten tappien mää-  
rä vähenisi ja samalla vähenisi tarvittavien syöttölaitteiden määrä. Halvemman  
investoinnin lisäksi syöttölaitteiden määrän väheneminen parantaisi koneen  
toimintavarmuutta.

Itse olen työn myötä oppinut paljon, sillä opintojeni erikoistuminen on ollut me-  
kaniikkasuunnittelussa. Tästä johtuen automaatioon liittyvää opetusta ei minulla  
ole juuri ollut. Näin ollen en tässä työssä ota kantaa esimerkiksi anturointiin tai  
ohjaukseen liittyviin asioihin. Työtä tehdessäni olen myös huomannut, että ide-  
ointityötä tulee huomaamatta tehtyä kaiken aikaa arkisissa tilanteissa. Teo-  
riapohjaa varten sain hyviä kirjavinkkejä ohjaavalta opettajaltani. Lisäksi tietoa  
löytyi palveluiden, kuten Google booksin avulla. Käytännön työosuuden suorit-  
tamista helpotti huomattavasti se, että sain toimeksiantajalta työpisteen ja va-  
paan pääsyn tarvittaviin tietoihin. Lisäksi, kun tarvitsin apua, sitä oli helposti  
saatavilla.

## Lähteet

- 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. Robottiikka. Vantaa: Tummavuoden Kirjapaino Oy.
- Aaltonen, K. Andersson, P. Aromäki, M. Höglund, K. Ihalainen, E. Jansson, F. Kauppinen, V. Lehto, H. Lohtari, L. Mäki, M. Niemi, E. Oraskari, R. Piispanen, R. Posti, E. Pukki, M. Puronto, A. Pylkkänen, J. Pääkkönen, E. Ruohola, I. Sihvonen, P. Vanninen, O. Vierimaa, K. Vuorinen J. 2000. Valmistustekniikka. Helsinki: Otatieto Oy.
- ABB. 2014. IRB340.  
[http://www02.abb.com/global/gad/gad01502.nsf/wfrmDownload?ReadForm&url=/global/gad/gad02007.nsf/Images/6E58B3D2684AB5E6C1256FB600340527/\\$File/875\\_720.jpg&size=23](http://www02.abb.com/global/gad/gad01502.nsf/wfrmDownload?ReadForm&url=/global/gad/gad02007.nsf/Images/6E58B3D2684AB5E6C1256FB600340527/$File/875_720.jpg&size=23) 12.3.2014
- Abloy Oy 2014. kotisivut. <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/Yritys/> 12.5.2014
- Adept technology, inc. 2012 Adept Quattro s800H.  
[http://www.adept.com/products/robots/parallel/quattro-s800h/downloads/doc\\_view/297-datasheet-adept-quattro-s800h-parallel-robot?tmpl=component&format=raw](http://www.adept.com/products/robots/parallel/quattro-s800h/downloads/doc_view/297-datasheet-adept-quattro-s800h-parallel-robot?tmpl=component&format=raw) 10.4.2014
- Assa Abloy 2014. Kotisivut.  
<https://www.assaabloy.com/en/com/Sustainability/manuenvi1/> 12.5.2014
- Brassard, M. & Ritter, D. 1994 The memory jogger II. Salem: GOAL/QPC.
- Haverila, M. Uusi-Rauva, E. Kouri, I. & Miettinen, A. 2005. Teollisuustalous. Tampere: Infacs Oy.
- Hesse, S. 1999 Rationalization with handling technology. Esslingen: Festo AG & Co.
- Hesse, S. 2004 Grippers and their applications. Esslingen: Festo AG & Co.
- International federation of robotics. 2012 History of industrial robots.  
[http://www.ifr.org/fileadmin/user\\_upload/downloads/forms\\_info/History\\_of\\_Industrial\\_Robots\\_online\\_brochure\\_by\\_IFR\\_2012.pdf](http://www.ifr.org/fileadmin/user_upload/downloads/forms_info/History_of_Industrial_Robots_online_brochure_by_IFR_2012.pdf) 19.1.2014
- International federation of robotics. 2013 World of robotics, industrial robots 2013. <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/> 19.1.2014
- International federation of robotics. 2014 Types of industrial robots.  
<http://www.ifr.org/industrial-robots/products/> 27.1.2014
- Joiner Associates. 1995 Pareto charts: plain & simple. Joiner Associates inc.
- Kuka. 2013 KR 30-3.  
[http://www.kukarobotics.com/finland/fi/products/industrial\\_robots/medium/kr30\\_3/start.htm](http://www.kukarobotics.com/finland/fi/products/industrial_robots/medium/kr30_3/start.htm) 12.3.2014
- Kuttan, A. 2007 Robotics. New Delhi. I.K International publishing house pvt. Ltd.
- Malm, T. Viitaniemi, J. Marstio, I. Toivonen, S. Koskinen, J. Venho, O. Salmi, T.Laine, E. & Latokartano, J. 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Helsinki: Hakapaino Oy.

Omron. 2014 Scara robots.

[http://industrial.omron.fi/fi/system/popups/show\\_large\\_visual.html?visual=http%3A//images.industrial.omron.fi/IAB/Products/Motion%2520and%2520Drives/SCARA%2520Robots/images/Scara\\_Robots400x400.jpg&type=&height=400&width=400](http://industrial.omron.fi/fi/system/popups/show_large_visual.html?visual=http%3A//images.industrial.omron.fi/IAB/Products/Motion%2520and%2520Drives/SCARA%2520Robots/images/Scara_Robots400x400.jpg&type=&height=400&width=400) 12.3.2014

Schunk. 2014 MPG catalog.

[http://www.schunk.com/schunk\\_files/attachments/MPG\\_gesamt\\_EN.pdf](http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/MPG_gesamt_EN.pdf) 11.4.2014

SFS-EN-ISO 10218-1, 2011 Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset osa 1: teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/DownloadServlet?action=getFile&forContract=10219&productId=263535> 19.5.2014

Sobek II, D. & Smalley, A. 2008. Understanding A3 thinking. New York: Taylor & Francis Group.

Struijk, B. 2011 Robots in human societies and industry.

<http://www.infokereses.zmne.hu/docs/Volume10/Issue1/pdf/15.pdf> 25.1.2014