

Petri Mikkola, Sami Räsänen

PYSTYKARSINTALAITTEEN AUTOMATISOITU KOKOONPANO

Insinööriö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
9.5.2007



Kajaanin

ammattikorkeakoulu

**OPINNÄYTETYÖ
TIIVISTELMÄ**

| | |
|--|---|
| Koulutusala Tekniikka ja liikenne | Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka |
| Tekijä(t) Petri Mikkola, Sami Räsänen | |
| Työn nimi Pystykarsintalaitteen automatisoitu kokoonpano | |
| Vaihtoehtoiset ammattipinnot Elektroniikan tuotantotekniikka | Ohjaaja(t) Eero Pikkarainen, yliopettaja Antti Piirainen, kehitysinsinööri |
| | Toimeksiantaja Oy Cimkey Ltd |
| Aika 9.5.2007 | Sivumäärä 60 |
| <p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia Oy Cimkey Ltd:n kehittämän pystykarsintalaitteen automatisoidun kokoonpanon mahdollisuuksia ja samalla kehittää Kajaanin ammattikorkeakoulun automatisoidun kokoonpanon tietotaitoa. Yleisesti ottaen automatisoitu kokoonpano on Suomessa hyvin suppeaa massatuotannon vähyiden vuoksi ja yleistymistä hidastaa kokoonpanoautomaatiolle tyypillinen jäykkyys.</p> <p>Kokoonpanossa on tarkoitus käyttää Kajaanin ammattikorkeakoulun ABB IRB 140 -robotia. Robottiin tutustuttiin insinööriyön aikana käyttäjäkursilla sekä omatoimisesti tutkien robotin ohjelmointia ja käyttäytymistä. Kokoonpanotietotaitoa kerättiin tutustumalla alan julkaisuihin ja tutkimuksiin.</p> <p>Insinööriyön tuloksina saatiin hankittua Kajaanin ammattikorkeakoululle ABB IRB 140 -robottiin lisälaitteita ja kehitettyä robotin työympäristöä. Työn tuloksena saatiin mallinnettua kolme kokoonpanoalustaa ja tarvittavat työkalut robotille pystykarsintalaitteen kokoonpanoa varten. Suunnittelu- ja mallinnustyössä käytettiin AutoCAD - ja Pro/ENGINEER -mallinnusohjelmia.</p> <p>Tarvittavat NC-ohjelmat tehtiin Pro/ENGINEER -ohjelmalla ja kokoonpanoalustat jrsittiin MDF- ja vanerilevyihin Numo5 NC -jrsimellä. Kaikki kokoonpanossa tarvittavat seitsemän työkalua saatiin mallinnettua. Kaksi työkalua ehdittiin myös valmistaa alumiinista Kajaanin ammattikorkeakoululla käyttäen koneistukseen manuaalisorvia ja -jrsintä. Myös kokoonpanotietotaito on lisääntynyt työn aikana.</p> <p>Koska työ osoittautui laajemmaksi kuin aluksi kuviteltiin, varsinaista kokoonpanon ohjelmointia robotille ei ehditty toteuttamaan. Varsinaisen ohjelmoinnin tekeminen on mielestämme yhden insinööriyön laajuinen työ.</p> | |
| Kieli | Suomi |
| Asiasanat | |
| Säilytyspaikka | X Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta X Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto |

| | |
|---|--|
| School School of Engineering | Degree Programme Mechanical and Production Engineering |
| Author(s) Petri Mikkola, Sami Räsänen | |
| Title Automatical Assembly for Treepruner | |
| Optional Professional Studies | Instructor(s) Eero Pikkarainen, Principal Lecturer Antti Piirainen, R&D Engineer |
| | Commissioned by Oy Cimkey Ltd |
| Date May 9, 2007 | Total Number of Pages 60 |
| <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to investigate possibilities for a treepruner's automatical assembly by ABB IRB 140 robot. Second main purpose was to develop Kajaani University of Applied Sciences know-how of automatical assembly. The objectives were to develop the robot's working environment, to design three assembly boards for the treepruner and to design seven tools for robot.</p> <p>Kajaani University of Applied Sciences arranged a two day training course concerning robot programming and the RAPID programming language. All assembly boards and tools were designed by using the AutoCAD 2005 and Pro/Engineer programs. The assembly boards were machined by using a Numo5 milling machine and the NC-programs were done by Pro/ENGINEER. The tools for a robot were machined by a manual milling machine and a manual lathe. Feedback and guidance for the thesis were given by the instructors and other personnel. Meetings with the instructors were arranged every two weeks.</p> <p>As the results of thesis, three assembly boards and seven tools for the robot were designed and 3D modeled. All three assembly boards were milled successfully from veneer plywood. Two tools were manufactured, the underpressure catcher and the screwdriving tool. The tools were machined from aluminium. There was not enough time to create program for robot.</p> | |
| Language of Thesis | Finnish |
| Keywords | |
| Deposited at | X Kaktus Database at Kajaani Polytechnic Library X Library of Kajaani Polytechnic |

SISÄLLYS

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 1 |
| 2 PYSTYKARSINTA | 3 |
| 3 ROBOTIT | 6 |
| 3.1 Yleistä roboteista..... | 6 |
| 3.2 Robottityypit ja rakenteet | 6 |
| 3.3 ABB IRB 140 -robotti..... | 9 |
| 4 ROBOTITARRAIMET, TYÖKALUT JA MAKASIINIT | 11 |
| 4.1 Robottitarraimet..... | 11 |
| 4.2 Robotissa käytettävät työkalut | 12 |
| 4.3 Makasiinit | 12 |
| 4.4 Lieriötärysyötin | 13 |
| 5 ALIPAINETEKNIikka | 14 |
| 5.1 Alipaineen tuottaminen..... | 14 |
| 5.2 Imukupit..... | 15 |
| 6 RUUVAUKSEN TUTKIMINEN | 16 |
| 6.1 Ruuvausprosessin ja -työkalun esiselvitys | 16 |
| 6.2 Robotin kuudes akseli | 17 |
| 6.3 Microtec Microdrive RS 500 screwdriver..... | 17 |
| 6.4 Robot System Product Swivel S 20-6E | 19 |
| 6.5 Ruuvausapulaitteen hankinta..... | 20 |
| 7 NC-TEKNIikka..... | 21 |
| 8 KOKOONPANO | 22 |
| 9 PYSTYKARSINTALAITTEEN KOKOONPANOJÄRJESTYS | 23 |
| 10 TYÖN TOTEUTUS | 25 |
| 10.1 Kokoonpanoalustojen suunnittelu ja toteutus | 25 |
| 10.2 Wolf-sovitteen kiinnittäminen varteen | 25 |
| 10.2.1 Kokoonpanoalusta | 27 |

| | |
|---|----|
| 10.2.2 Työkalut | 28 |
| 10.2.3 Rungon välivarasto | 34 |
| 10.3 Teräpaketin kokoonpano..... | 36 |
| 10.3.1 Makasiinit..... | 37 |
| 10.3.2 Työkalut | 42 |
| 10.3.3 Teräpaketin välivarasto | 44 |
| 10.4 Rungon ja teräpaketin kokoonpano..... | 44 |
| 10.4.1 Makasiinit..... | 47 |
| 10.4.2 Kokoonpanoalusta | 51 |
| 10.4.3 Työkalut | 52 |
| 10.4.4 Rungon ja teräpaketin kokoonpanon välivarasto..... | 54 |
| 10.5 Manuaalinen kokoonpano..... | 54 |
| | |
| 11 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU | 56 |
| | |
| 12 YHTEENVETO..... | 59 |
| | |
| LÄHTEET..... | 61 |

1 JOHDANTO

Oy Cimkey Ltd on kehittänyt pystykarsintalaitteen, jota käytetään puiden, lähinnä tukkimänniköiden, rungon myötäiseen pystykarsintaan (kuva 1). Tällä hetkellä laitteen kokoonpano tapahtuu käsin, mutta työn tilaaja haluaa tutkia mahdollisuudet automatisoida kokoonpano. Tavoitteena on suunnitella ja valmistaa työympäristö sekä ohjelma Kajaanin ammattikorkeakoulun ABB IRB 140 -robotille kymmenen tuotteen työerälle. Lisäksi tavoitteena on kokoonpanotietouden ja -taidon kerryttäminen oppilaitokselle.

Pystykarsintalaite koostuu rungosta, Wolf-sovitteesta, kaksiosaisesta saksiterästä sekä aluslevystä, teräpaketin holkista, ketjusta, väli- ja etulevystä, jotka yhdistävät rungon ja saksiterän yhdeksi kappaleeksi. Kokoonpanossa on tarkoitus tehdä kaksi osakokoonpanoa (runko ja teräpaketti), jotka yhdistetään loppukokoonpanoksi.



Kuva 1. Pystykarsintalaite (Oy Cimkey Ltd)

Kokoonpanon toteuttamiseksi pitää suunnitella tarvittavat oheislaitteet, makasiinit ja tarttumat. Suurimmat vaikeudet kokoonpanon automatisoinnissa ovat tiukat välykset sekä ruuvien ja mutterien kiertäminen. Kokoonpanoon jää muutamia manuaalisesti tehtäviä töitä sekä ennen että jälkeen automaattisen kokoonpanon.

Vaikka kokoonpano on hyvä automatisoinnin kohde, pitkälle automatisoitu kokoonpano Suomessa on suhteellisen harvinaista massatuotannon vähyyden vuoksi. Ongelmana on kokoonpanoautomaatiolle tyypillinen jäykkyys, joka vaatii suuria investointeja laitteisiin ja sallii heikosti erilaisten tuotevariaatioiden valmistuksen. [1.]

2 PYSTYKARSINTA

Pystykarsinta on vanhastaan tunnettu menetelmä, joka riukuasteella toteutettuna parantaa olennaisesti metsikön päätehakkuvaiheessa saatavien tukkien laatua. Mäntytukkimetsien puiden alaosille tarpeettomiksi jääneiden oksien poistaminen riittävän aikaisessa vaiheessa on tärkeä metsänhoidollinen toimenpide.

Oikein suoritettulla pystykarsinnalla lisätään oksattoman ja vähäoksaisten raaka-aineen määrää ratkaisevasti. On myös huomattava, että aktiivinen karsinta luonnon karsintaan verrattuna tuottaa tasalaatuisempaa ja oksattomampaa pintalautaa ympäri puuta. Näin aktiivinen karsintatyö sinällään edistää ja parantaa laadukkaan puun tuottamista, ja siitä on taloudellista hyötyä metsänomistajille.

Jo nyt sahoilla on vaatimuksia tukin suurimman sallitun oksan ja oksien määrien suhteen. Mikäli tulevaisuudessa tuo järeä puuainees menee kuitupuuksi suurten oksien vuoksi, on kaikenlaisten elävien oksien karsiminen tietyn kokoisissa männiköissä kannattavaa. Tällöin estetään suuriläpimittaisten oksien muodostuminen ja siirretään näin puu kuitupuun odotusarvosta tukkipuun hintaluokkaan. Näin tapahtuu, vaikkei tuo puu olisikaan mikään laatutyyppi mutta sitä ei hylätä suurioksaisuuden vuoksi.

Suomessa puita, lähinnä mäntyjä ja rauduskoivuja, tulee pystykarsia, jotta saadaan oksatonta sahatavaraa ja vanerikoivua myös tulevaisuudessa. Karsintaa tulee ihmisen toimesta nopeuttaa. Karsia kannattaa vain suhteellisen ohuita mäntyrunkoja, joiden paksuus on 70-140 mm. Tällöin lasketaan, että puut ehtivät vielä noin 40-60 kasvuvuotensa aikana tuottaa runsaasti oksatonta puuainesta. Tuota paksumpien runkojen karsimisessa ei lasketa olevan vastaavaa etua. Mänty voidaan karsia 4-6 metrin korkeuteen. Tyvitukki tulisi saada oksattomana. Tuotantokarsinnassa ei suositella karsittavaksi yli 15 mm:n oksaa. Kuitenkin usein karsitaan se hieman paksumpikin oksa, jotta metsiköstä saadaan tasaisen näköistä. Tämän vuoksi karsintalaitteiden olisi hyvä kyetä karsimaan myös paksumpia, ehkä 20-25 mm olevia oksia.

Karsija leikkaa oksan siten, että leikkuuterät tekevät oksan ympäri kiertyvän viiltävän liikkeen, jolloin leikkuukita sulkeutuu. Kuvan 2 mukaisesti leikkuujälki on siisti ja repeämiä ei tapahdu, koska viimeinen oksaa kannatteleva puuainees jää oksan keskelle.



Kuva 2. Pystykarsintalaitteen leikkujälki (Oy Cimkey Ltd)

Karsijassa on yksinkertainen ohjain, jonka avulla leikkuukita sijoittuu helposti pudotuksen omaisesti oksan päälle. Karsijan leikkuukitaan sopivat oksat halkaisijaltaan 30 mm:n asti. Yhdellä kevyellä ja noin 11 cm pitkällä nykäisyllä oksa katkeaa siististi. Karsijassa ei ole taljaa, joten molemmilla käsillä työskennellään koko ajan samaan suuntaan. Tarvittaessa voidaan käyttää ruumiin painovoimaa apuna.

Karsijan varsi on joustava, mikä mahdollistaa vetosuunnan vaihtelun. Kaikki karsijassa olevat toimivat osat suuntautuvat rungosta pois päin tai rungon suuntaisesti, joten puun runko ei vahingoitu oksaa leikatessa.

Pystykarsintalaitetta suositellaan käytettäväksi:

- Metsänomistajille omatoimiseen pystykarsintaan
- Sähkölinjojen hoitajille oksien poistamiseen linjoilta
- Hirvimiehille teiden varsien turvakarsintaan
- Metsäyhtiöille ja metsähallitukselle pystykarsintaan
- Metsänhoitoyhdistyksille vuokrattavaksi metsänomistajille
- Kunnille ja kaupungeille puistojen hoitoon
- Puutarhureille hedelmäpuiden hoitoon [2.]

3 ROBOTIT

3.1 Yleistä roboteista

Kansainvälisen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan robotti on vähintään kolminivellinen, uudelleen ohjelmoitavissa oleva mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan osia, kappaleita, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. Näitä tehtäviä ovat esimerkiksi lajittelu, pakkaus, hitsaus, hionta, kokoonpano ja maalaus. Nykyaikaisissa aistinohjatuissa robottisovelluksissa uudelleen ohjelmoitavuus ei pelkästään riitä, vaan robotit on saatava muodostamaan tuotteen suunnittelutiedoista ja ympäristömallista liikeratansa, jota päivitetään automaattisesti prosessia tarkkailevien antureiden avulla.

Yksinkertaistettuna teollisuusrobotti on mekaaninen kone, joka siirtää robotin käsivarren päässä olevaa työkalun kiinnityslaippaa halutulla tavalla. Liikerata voidaan määrittellä kokonaan etukäteen, toimintaympäristön tapahtumien perusteella tai antureiden perusteella robotin liikkeen aikana. Robotin ja työkalun välissä on tukivarsia, joita nivelet liittävät toisiinsa. Niveviä liikuttavat servotoimilaitteet.

3.2 Robottityypit ja rakenteet

Robottien yleisimmät rakenteet ovat seuraavat:

- Suorakulmainen robotti
- Sylinterirobotti
- Napakoordinaatistorobotti
- Scara-robotti
- Kiertyvänivellinen robotti
- Rinnakkaisrakenteinen robotti

Tyypillisintä suorakulmaista robottia kutsutaan portaalirobotiksi. Sen rakenne on tuettu työalueen nurkista palkeilla. Suorakulmaisten robottien kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia.

Sylinterirobotin nimitys tulee luonnollisesti sylinterin muotoisesta työalueesta. Vapausasteita on yleensä neljä, joista kaksi on lineaarista ja kaksi kiertyvää.

Scara-robotti muistuttaa ihmisen vaakatasossa liikkuvaa käsivartta, mutta siihen on lisätty pystyjohde. Scara-robotissa on tiettyyn suuntaan joustava kokoonpanokäsivarsi ja kolmella kiertyvällä nivelellä työkalu saadaan oikeaan tietyllä tasolla olevaan kohtaan ja kiertymäkulmaan. Neljäs lineaarinen liike on työtason normaalin suuntainen.

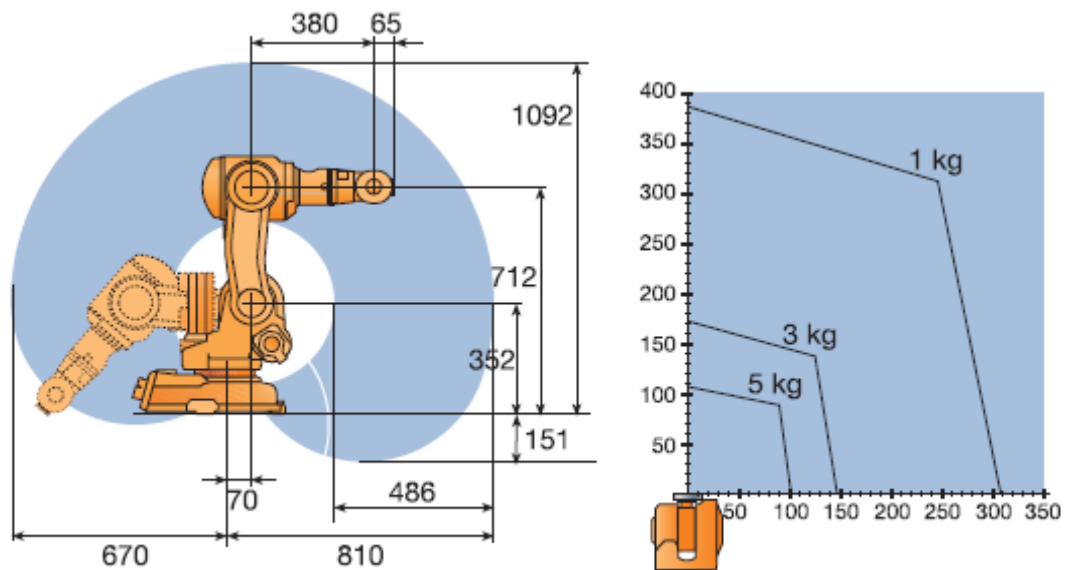
Kiertyvänivelisessä robotissa on yleensä neljä tai kuusi vapausastetta ja ne kaikki ovat kiertyviä. Koska tukivarret ovat kytketty peräkkäin, robotin kuormankantokyky on melko pieni mutta ulottuvuus eli työalue suuri. Nykyiset teollisuusrobotit perustuvat lähes poikkeuksetta tähän rakenteeseen. Kuvassa 3 on esitetty teollisuusrobottien yleisimmät rakenteet, kinemaattiset kaaviot ja työalueet. [3.]

| Nimitys pääakseleiden mukaan | Rakenne | Kinemaattinen kaavio | Työalue |
|------------------------------|---------|----------------------|---------|
| Suorakulmainen robotti | | | |
| Sylinterirobotti | | | |
| Napa-koordinaatistirobotti | | | |
| Scara-robotti | | | |
| Kiertyvänivelinen robotti | | | |

Kuva 3. Teollisuusrobottien rakenteet, kinemaattiset kaaviot ja työalueet [3.]

3.3 ABB IRB 140 -robotti

ABB IRB 140 -robotti on pieni, voimakas ja nopea teollisuusrobotti. Siinä on kuusi vapausastetta eli akselia ja se pystyy kantamaan viiden kg:n kuorman 810 mm:n ulottuvuudella. Robotin toistotarkkuus on 0,03 mm. Kuvassa 4 on esitetty ABB IRB 140 -robotin ulottuvuudet sekä kantavuusdiagrammi ja taulukossa 1 on esitetty akselien liikealueet ja nopeudet.



Kuva 4. ABB IRB 140 -robotin ulottuvuudet ja kantavuusdiagrammi [4.]

Taulukko 1. ABB IRB 140 -robotin akselien liikeradat [4.]

| Akseli | Liikealue | Nopeus |
|--------|-----------|--------|
| 1 | 360° | 200°/s |
| 2 | 200° | 200°/s |
| 3 | 280° | 260°/s |
| 4 | 400° | 360°/s |
| 5 | 240° | 360°/s |
| 6 | 800° | 400°/s |

ABB IRB 140 -robotin tärkeimmät käyttösovellukset ovat kaarihitsaus, kokoonpano, ruiskuväliäminen, liimaaminen, tiivistäminen, kappaleiden käsittely ja poiminta, pakkaaminen ja pintakäsittely (ruiskumaalaus). [4.]

4 ROBOTITARRAIMET, TYÖKALUT JA MAKASIINIT

4.1 Robottitarraimet

Tarrain on robotin työkalu, jolla voidaan tarttua liikuteltavaan kappaleeseen. Koska tarraimet ovat osa toimivaa robottijärjestelmää, ne tulisi suunnitella kokonaisuus huomioiden. Yleisiä vaatimuksia tarraimille ovat yksinkertainen rakenne, mahdollisesti useat käyttökohteet, pieni koko ja paino, luotettava tartunta, toimintavarmuus ja kestävyys sekä tarkkuus.

Tarraimen suunnittelun lähtökohta on prosessin ja kappaleen analyysi. Suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat asiat:

- kappaleen koon, muodon ja massan vaihtelut, painopiste, stabiilisuus
- kappaleen materiaali, huokoisuus ja hauraus, pinnan laatu, kitka, magneettisuus
- kappaleiden asema
- prosessin aikaiset voimat, toimintaympäristö
- toiminnalliset ja rakenteelliset vaatimukset
- taloudelliset näkökohdat

Yleisimmät tarraintyypit ovat mekaaninen tarrain ja alipainetarttuja. Muita tarraimia ovat esimerkiksi magneettisuuteen ja elektrostaattisuuteen perustuvat tarraimet. Nykyisin on käytössä myös paljon anturoituja, älykkäitä tarraimia, jotka tarkkailevat tartuntaa ja kappaletta prosessissa. Anturit tarkkailevat esimerkiksi tarraimen etäisyyttä työkappaleeseen, tarraimen avautumaa, kosketusta työkappaleeseen sekä kappaleen muotoa.

4.2 Robotissa käytettävät työkalut

Ilman työkalua robotin on mahdotonta suorittaa työtehtäväänsä. Tavallisia roboteissa käytettäviä työkaluja ovat kaari- ja pistehitsauspäät, liimaus- ja saumaussuuttimet, maaliruiskut, jyrsimet ja hiomalaitteet, polttoleikkaimet, ruuvaustyökalut ja muovaimet.

Työkalu valitaan työtehtävän mukaan ja työkalu yleensä suunnitellaan tiettyä työtehtävää varten. Esimerkiksi tarttujat suunnitellaan käsiteltävän työkappaleen mukaan. Työkalujen suunnittelussa pyritään taloudellisuuteen esimerkiksi siten, että samalla tarttujalla voidaan käsitellä useita eri työkappaleita tai tarttujan vaihtoja on mahdollisimman vähän.

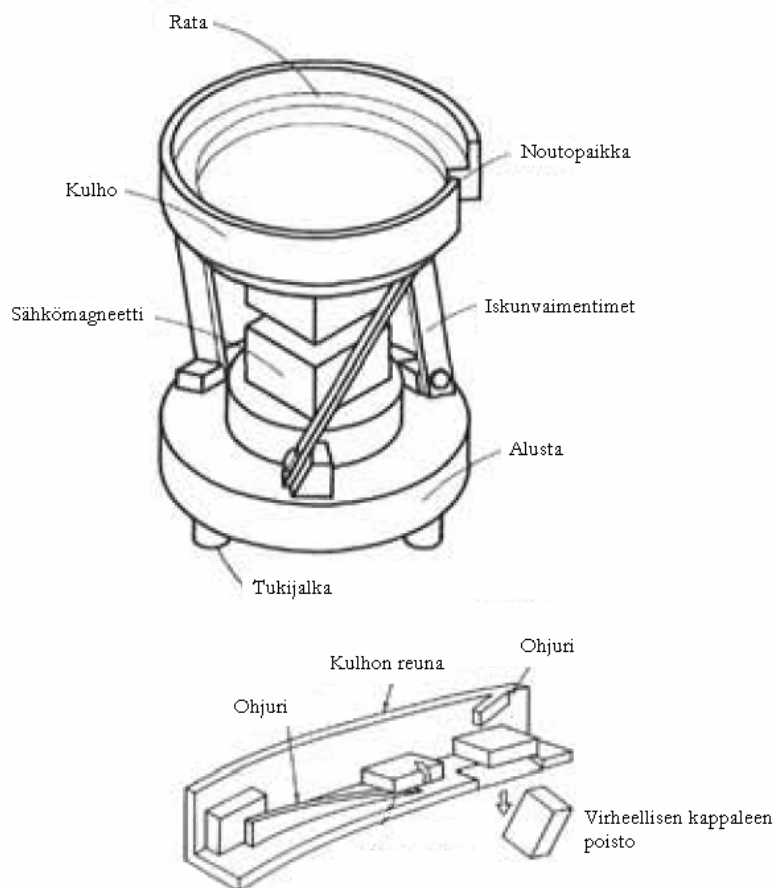
4.3 Makasiinit

Pelkällä robotilla ja robotin työkalulla on usein hankala hoitaa kaikkia kokoonpanossa suoritettavia työtehtäviä. Robotin työtehtävien suorittamista voidaan auttaa suunnittelemalla ja rakentamalla työympäristöön oheislaitteita, esimerkiksi makasiineja, jotka tukevat työtehtäviä. Makasiinien ja syöttölaitteiden onnistunut suunnittelu ja toteutus ovat tärkeitä asioita, koska automaattisessa tuotannossa osan tai työkappaleen asema ja asento pyritään säilyttämään. Varsinkin robotisoidussa tuotannossa pyritään siihen, että noudettava kappale haetaan aina samasta paikasta. Näin saadaan helpotettua robotin ohjelmointia ja nopeutettua työkiertoa. Myös makasiinien helppo ladattavuus tulee ottaa huomioon.

Yleisimpiä makasiinityyppejä ovat paletit ja pystymakasiinit. Syöttölaitteista yleisimmät ovat tärysäiliöt ja tarkkuusservoilla varustetut lineaariliikkujat. Kaikki kokoonpanossa käsiteltävät oheislaitteet ja työkappaleet on oltava tietyssä paikassa ja asemassa. Tämän seurauksena työkaluilla tulee olla omat paikat. Kun valmistetaan tietyn suuruisia sarjoja, työkappaleet voidaan järjestellä makasiineihin, jossa jokaisella työkappaleella on määrätty asema ja asento. Työkappaleiden siirtämiseen kokoonpanotyökiertoon voidaan käyttää myös syöttölaitteita, esimerkiksi tärysäiliöitä, jotka soveltuvat paremmin jatkuvaan kokoonpanoon.

4.4 Lieriötäräsyötin

Lieriötäräsyötin on kuvan 5 mukainen yksinkertainen syöttölaite, jossa syötettävä kappale liikkuu epäkeskomoottorin aiheuttaman värinän avulla astian pohjalta noutopaikkaan. Matkalla kappale asettuu noudon kannalta oikeaan asentoon värinän ja erilaisten ohjureiden avulla. Rakenteeltaan laite on yksinkertainen, varmatoiminen ja sopii laajalle kappalekirjolle. Ei kuitenkaan ole kannattavaa hankkia pieniä sarjoja varten lieriötäräsyötintä suhteellisen korkean hinnan takia. Kustannussyistä tässä työssä päädyttiin käsin lastattaviin makasiineihin. Tässä työssä tutkittiin kymmenen kappaleen sarjan kokoonpanoa, joten ruuvien ja muttereiden syöttäminen kokoonpanoon ei ole pullonkaulana. Jos sarjakoko olisi huomattavasti suurempi, lieriötäräsyötin olisi hyvä ratkaisu ruuvien ja muttereiden syöttämiseen kokoonpanoon.



Kuva 5. Periaatekuva lieriötäräsyöttimestä [5.]

5 ALIPAINETEKNIikka

Alipainetekniikassa paine alennetaan ilmanpainetta pienemmäksi, jolloin ympäristön ja alennetun paineen ero saa aikaan voiman, jota voidaan hyödyntää halutun tehtävän suorittamiseksi. Painetta alennetaan poistamalla ilmaa suljetusta tilasta, tarkasti ottaen ilman poistaminen tarkoittaa molekyylien poistamista. Fysiikan lakien mukaisesti tilavuuden kasvusta seuraa paineen aleneminen.

Pneumatiikassa normaali ilmanpaine on nollataso, joten alipaine tarkoittaa tämän tason alapuolisia paineita. Pienin mahdollinen alipaine, jota sanotaan myös sadan prosentin alipaineksi, on paineen absoluuttinen nolla. Painearvona se on $-0,1013$ MPa. Yleensä kuitenkin toimitaan tätä suhteellisesti pienemmillä painearvoilla, koska absoluuttisen alipaineen tuottaminen on epäkäytännöllistä ja kallista. Esimerkiksi 50 % alipaine tarkoittaa $-0,05$ MPa painetta normaalin ilmanpaineen ollessa nollataso. [6.]

5.1 Alipaineen tuottaminen

Teollisuusjärjestelmissä alipainetta tuotetaan mekaanisilla alipainepumpuilla tai ejektoreilla. Mekaanisen alipainepumpun toimintaperiaate on kompressorin kaltainen. Kompressorilla imetään normaali-ilmanpaineista ilmaa ja tuotetaan korkeampaa painetta, kun taas alipainepumpulla imetään normaalia ilmanpainetta alempia paineita ja tuotetaan normaalipaineista ilmaa.

Ejektorit ovat kooltaan pieniä, ilman mekaanisia osia toimivia laitteita. Suodatettu, mielellään öljytön paineilma ohjataan kuristimen kautta ulkoilmaan, jolloin kuristimen jälkeinen ilman nopeus kasvaa. Ejektoreissa voi olla yhden kuristimen asemasta useita kuristimia, jolloin alipainetta voidaan tuottaa paremmalla hyötysuhteella, nopeammin ja hiljaisemmin kuin yksikuristimisella ejektorilla. Virtausnopeuden kasvaessa paine pienenee ja imuliittimeen syntyy alipaine. Ejektorin syöttöpainetta muuttamalla voidaan vaikuttaa alipaineen suuruuteen. Yleensä ejektorilla pyritään saavuttamaan haluttu alipaine mahdollisimman nopeasti mahdollisimman pienellä ilmankulutuksella.

Jos tarvitaan jatkuvaa alipainetta tai suuria virtauksia, kannattaa alipaineen tuottamiseen valita mekaaninen alipainepumppu. Ejektorin valinta on järkevämpi silloin, kun alipaineen tarve on satunnaista tai katkonaista. [6.]

5.2 Imukupit

Imukupeilla voidaan nostaa, kiinnittää ja siirtää työkappaleita muutamasta grammasta aina kymmeneen kilogrammoin saakka. Jos yhden imukupin nostovoima ei riitä tai kappaleeseen pitää tarttua useammasta kohdasta, voidaan tarttujaan valita useita imukuppeja. Tulee kuitenkin muistaa, ettei paine-ero voi olla 0,1 MPa suurempi. Imukuppi mitoitetaan kaavalla

$$F = \Delta p \cdot A$$

$$F = \text{kiinnitysvoima}$$

$$\Delta p = \text{paine-ero}$$

$$A = \text{imukupin pinta-ala.}$$

Jos imukuppeja on useita, tulee voima jakaa niiden kesken ja lisäksi laskennassa tulee käyttää varmuuskerrointa (yleensä 2). Imukupin halkaisija d voidaan laskea kaavalla

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot n}{\pi \cdot p \cdot s}}$$

$$F = \text{tarvittava voima}$$

$$n = \text{varmuuskerroin}$$

$$p = \text{alipaine}$$

$$s = \text{imukuppien määrä}$$

Imukuppeja on monenlaisia erilaisiin käyttökohteisiin. Perusimukuppi on yksinkertainen ja tasomaisten kappaleiden käsittelyyn sopiva vaihtoehto. Solukumista valmistetulla imukupilla voidaan käsitellä esimerkiksi kiveä, betonia ja muita pinnaltaan karheita kappaleita. [6.]

6 RUUVAUKSEN TUTKIMINEN

Tässä työssä tutkittiin myös ruuvien kiertämiseen käytettäviä menetelmiä ja työkaluja robotille. Yleisesti ottaen robotilla tehtävistä kierteisistä kokoonpanoista ei ole tietoa saatavilla, joten tutkiminen on hyvin hankalaa ja tutkimisprosessi olisi helposti yhden opinnäytetyön laajuinen. Ajalliset ja rahalliset resurssit olivat opinnäytetyötä tehdessä rajalliset, joten ruuvien kiertämiseen robotilla ei pystytty perehtymään syvällisemmin.

Aiheena ruuvauksen tutkiminen olisi laaja, monipuolinen ja mielenkiintoinen. Ruuvien kiertämiseen robotilla liittyy ruuvausprosessin lisäksi olennaisesti myös ruuvien makasiini tai syöttölaite, ruuvien poiminta kokoonpanoon sekä työkalun vaihdot työkierron aikana. Kysyttäessä mielipidettä ruuvausprosessista ABB Oy:n huoltoinsinööri Lari Kylmäselältä, hän oli sitä mieltä että tässä työssä ruuvausprosessi kannattaisi suorittaa kuudennen akselin kiertymistä apuna käyttäen.

6.1 Ruuvausprosessin ja -työkalun esiselvitys

Pystykarsinalaitteessa on yhtä karsijaa kohden kuusi ruuvia, jotka kierretään kiinni robotilla. Kokoonpanossa tarvittavaa ruuvausta varten jouduttiin tekemään esiselvitystä erilaisista ruuvaustyökaluista ja niiden käytettävyydestä robotille. Esiselvityksessä selvitettiin pystykarsinalaitteessa käytettävien ruuvien kiristysmomentit myötörajalle, joka on ruuvaustyökalulta vaadittava maksimivääntömomentti. Samalla selvitettiin ruuvien nousut, jota tarvittiin apuna ruuvausprosessin tutkimisessa. Nousun avulla määritettiin kuinka paljon ruuvaustyökalua täytyy laskea yhden kierroksen aikana.

6.2 Robotin kuudes akseli

Robotin kuudennen akselin maksimikiertymä on 800° , joka on noin 2,2 kierrosta. Pelkällä kuudennella akselilla tapahtuva kiertäminen ilman apulaitteita soveltuu varsin hyvin lyhyille kierteille. Pidempiä kierteitä varten joudutaan kuudennen akselin kiertymisen rajan tullessa vastaan päästämään irti kierrettävästä kappaleesta ja palauttamaan kuudes akseli takaisin toiseen ääriasentoon. Toisena vaihtoehtona on käyttää ruuvausapulaitetta.

6.3 Microtec Microdrive RS 500 screwdriver

Yhtenä vaihtoehtona ruuvaukseen tutkittiin kuvan 6 mukaista Microdrive RS 500 - tarkkuusruuvainta, johon kävimme tutustumassa Tekniikka 2006 -messuilla Jyväskylässä. Microdrive RS 500 on mikroprosessoriohjatulla servotoimilaitteella varustettu tarkkuustyökalu, jonka hyviä ominaisuuksia ovat:

- Väännön toistettavuus 2-10 % lopullisesta arvosta
- Ruuvausprosessin tietojen keruu
- Pehmytkäynnistys
- Virheiden ilmoitus
- Laajat ohjelmoitavat parametrit mm.
 - Vääntövoima
 - Väännön pitoaika
 - Herkkyys
 - Kierrosnopeus
 - Ohjelmoitava aloitusnopeus

Tämä ruuvain vaatii toimiakseen erillisen ohjainlaitteen sekä adapterin, jolla laite kiinnittyy robotin työkalulaippaan. Lisäksi tähän ruuvaimeen on saatavilla erilaisia lisävarusteita, esimerkiksi ruuvin syöttölaite sekä Torque Test Pro -ohjelmisto, jolla tutkitaan kerättyä dataa ruuvausprosessista. Tämän datan avulla voidaan säätää prosessi mahdollisimman tarkasti.

Täydellisenä Microdrive RS 500 -laitteisto olisi maksanut 12600 € sisältäen arvolisäveron. Tutkimuksissa tultiin siihen tulokseen, että kyseinen laitteisto on liian hintava ja toisaalta tässä työssä ei tarvita näin monipuolista laitteistoa. Taulukossa 2 on esitetty Microdrive RS 500 -ruuvaimen tekniset tiedot.

Taulukko 2. Microdrive RS 500 -ruuvaimen tekniset tiedot [7.]

| Momenttialue | Nopeusalue | Massa |
|--------------|-----------------------|--------|
| 10–50 Ncm | 100–600 kierrosta/min | 1,84kg |



Kuva 6. Microdrive RS 500 screwdriver [7.]

6.4 Robot System Product Swivel S 20-6E

Toisena vaihtoehtona tutkimme kuvan 7 mukaista Swivel S 20-6E -apulaitetta, joka ei varsinaisesti ole ruuvaustyökalu vaan se mahdollistaa robotin kuudennen akselin pyörittämisen ilman, että paineilma- ja sähköjohtimet eivät kierry akselin mukana. Apulaite mahdollistaa kuuden paineilmajohtimen ja kahdeksan sähköjohtimen kytkemisen robotin työkaluun. Ilman tätä apulaitetta kuudennen akselin pyörittämisessä ääriasennosta toiseen voi aiheutua vaurioita robotin työkalulaippaan tuleville johtimille.

Tämän tuotteen etuja ovat:

- Robotin kuudennen akselin pyörittäminen ilman että kaapelointi pyörii mukana
- Pieni massa
- Suuri korroosiokestävyys
- Pieni huollon tarve
- Edullinen hankintahinta

Tämän apulaitteen hankintahinta on 1600 € sisältäen arvolisäveron. Swivel S 20-6E soveltuu suoraan ABB IRB 140 -robotin työkalulaippaan ilman väliadaptereita.

Taulukko 3. Swivel S 20-6E tekniset tiedot [8.]

| Käsittelykyky | Sähköiset ulostulot | Paineilmaulos- tulot | Massa | Maksimi kierrosnopeus | Maksimi momentti |
|---------------|---------------------|----------------------|---------|-----------------------|------------------|
| 20 kg | 8 kpl | 6 kpl | 0,90 kg | 60 kierros- ta/min | 150 Nm |



Kuva 7. Swivel S 20-6E [8.]

6.5 Ruuvausapulaiteen hankinta

Ruuvausapulaiteita tutkiessa päädyttiin Robot System Productsin valmistamaan Swivel S 20-E6 -ruuvausapulaitteeseen. Tämän apulaiteen valintaan vaikutti hinta, koska käytössä olleet resurssit olivat rajalliset. Swivel sopii myös ilman väliadapteria suoraan robotin työkalulaippaan, joten välttyttiin ylimääräiseltä työltä.

Pystykarsintalaitteen kokoonpanossa suurin osa ruuveista on lyhytkierteisiä jolloin robotin kuudennen akselin kokonaiskiertymä riittää näiden ruuvien kiertämiseen. Kolme ruuvia kiertyy kokoonpanossa enemmän kuin 800° , joten kuudennen akselin kiertymisen rajan tullessa vastaan joudutaan ruuvista päästämään irti ja palauttamaan kuudes akseli takaisin toiseen ääriasentoon, jolloin voidaan jatkaa ruuvien kiertämistä. Toiminnaltaan Swivel on yksinkertainen ja soveltuu käytettäväksi tähän työhön erittäin hyvin.

7 NC-TEKNIikka

NC on lyhenne englanninkielisistä sanoista *numerical control*. Työstökone on numeerisesti ohjattu, kun se suorittaa kappaleen koneistamiseksi tehtävät liikkeensä automaattisesti. NC-koneella tarkoitetaan yleisesti konetta, jonka ohjaukseen kuuluu ohjelmamuisti ja tietokone ohjaamaan sen toimintoja.

NC-jyrsinkoneissa on kolmen akselin numeerinen ohjaus ja jyrsinkoneen työkalu vaihdetaan käsin. Kun jyrsinkoneeseen lisätään automaattinen työkalunvaihto, sitä voidaan jo kutsua koneistuskeskukseksi. NC-jyrsinkoneet ovat jo jäämässä historiaan koneistuskeskusten yleistyessä.

NC-ohjelmalla tarkoitetaan digitaalisen datan muodossa olevaa informaatiota, jota numeerisesti ohjattu työstökone kykenee lukemaan, tulkitsemaan ja suorittamaan dataan koodatun informaation mukaisesti. Nykyisin ohjelmointi suoritetaan lähes aina tietokoneavusteisesti.

Tietokoneavusteinen NC-ohjelmointi on toimintaa, jossa luodaan NC-koneiden työstöratoja ja ohjataan työkalun liikkeitä kappaleen geometriaan tukeutuen. Ensimmäisessä vaiheessa luodaan kappaleen geometria CAD-järjestelmän avulla joko kaksi- tai kolmiulotteisena. Toinen vaihe on laatia kappaleen koneistamiseksi tarvittavia työstöratoja. Seuraavassa vaiheessa simuloidaan laaditut työstöradat, jolloin saadaan tarkastettua työkalujen soveltuvuus ja tarkoituksenmukainen liikkuminen. Simuloinnin tuloksen perusteella voidaan työstörataa korjata ja muokata. Periaate on, että simulointia ja korjausta jatketaan niin kauan, kunnes työstörata on valmis.

Kun simulointi on valmis, muodostetaan välitiedostosta varsinainen NC-ohjelma suorittamalla postprosessoriajo. Postprosessori lukee välitiedostoa ja tulostaa samalla NC-ohjelmaa. Tämän jälkeen valmis NC-ohjelma voidaan arkistoida ja siirtää NC-koneelle.

Tietokoneavusteisen ohjelmoinnin suurin etu on se, että ennen varsinaista koneistusta voidaan ohjelmaa simuloida ja korjata tietokoneella. Vaikeat laskutoimitukset, joissa käytetään paljon trigonometriaa ja desimaalilukuja kolmen desimaalin tarkkuudella, poistuvat. Myös kolmiulotteisten pintojen ohjelmointi helpottuu. [9.]

8 KOKOONPANO

Kokoonpano on tuotekohtaisesti valmistettujen osien, standardikomponenttien ja tarvikkeiden liittämistä toisiinsa toimivaksi tuotteeksi tai sen osaksi. Tuotteessa voi olla osakokoonpanoja, joissa syntyy toimivia osakokonaisuuksia ja loppukokoonpano, jossa osakokoonpanot ja muut osat sekä komponentit liitetään eri tavoin toisiinsa. Osa on tuotekohtainen, yleensä yhdestä materiaalista valmistettu perusyksikkö. Komponentti on valmiina ostettu standardiosa, toiminto tai osakokonaisuus.

Kokoonpanotyön sisältö on kappaleiden käsittelemistä, siirtämistä paikasta toiseen, varastointia, liittämistä ja sovittamista sekä tarkastamista. Liittämistä ovat muun muassa ruuvaaminen, niittaaminen, silloittaminen ja hitsaaminen, puristaminen, kutistaminen ja liimaaminen. Vain osa kokoonpanotyöstä, periaatteessa vain liittäminen, kohottaa tuotteen jalostusarvoa. Tarkastaminen, siirrot, käsittelyt ja varastoinnit eivät jalosta tuotetta, vaan aiheuttavat sekä aikaviiveitä että kustannuksia. Ilman näitä toimintoja ei kokoonpano kuitenkaan ole mahdollista, niiden osuus on vain pyrittävä pitämään mahdollisimman vähäisenä.

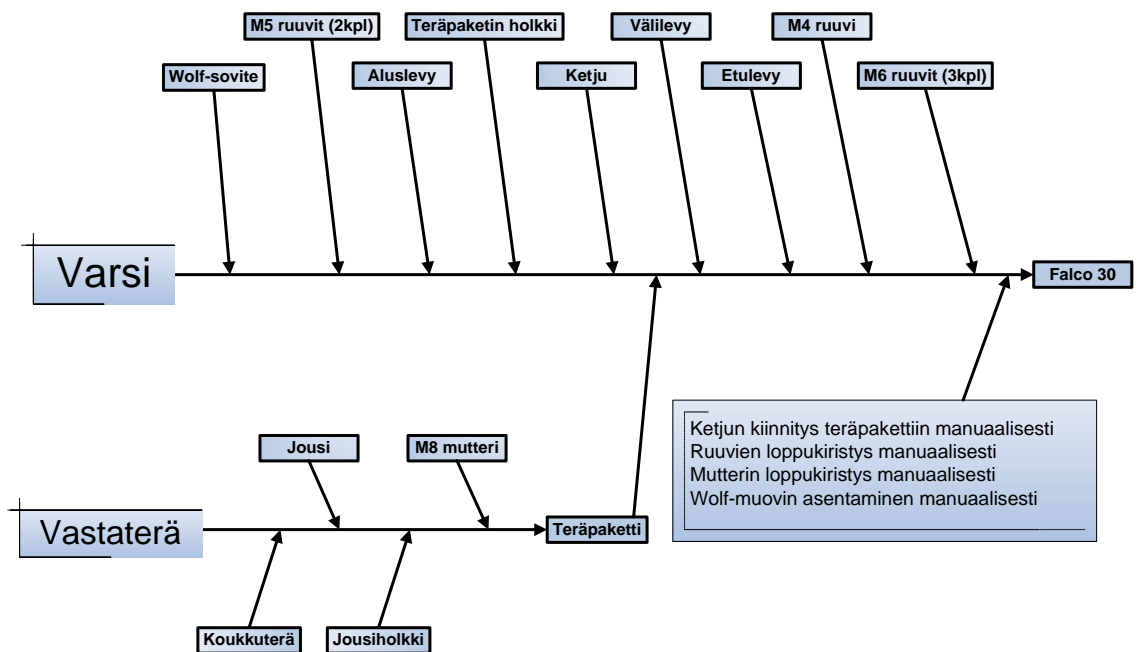
Tyypillisesti suomalaisen metallituoteteollisuuden kokoonpanotyö on ollut käsityötä. Työpaikkana manuaalisessa pienempien kappaleiden kokoonpanossa on työpöytä apulaitteineen. Jäykkä kokoonpanoautomaatio on tuotteen kokoamista sitä varten erityisesti suunnitelluilla ja valmistetuilla kokoonpanokoneilla tai useista koneista muodostetuilla konelinjoilla. Jäykkä kokoonpanoautomaatio ei yksittäis- ja piensarjavalmistuksessa ole ollut taloudellisesti perusteltua.

Joustavalla kokoonpanoautomaatiolla voidaan valmistaa tietyn tuoteperheen, usein suppean variaatiovalikoiman puitteissa, erilaisia tuotteita pienissä erissä. Yleensä näitä joustavia kokoonpanolaitteistoja ei saa valmiina, vaan ne on räätälöitävä tapauskohtaisesti erilaisista komponenteista, joita ovat kuljetusjärjestelmät, varastointilaitteet, käsittelylaitteet sekä liitosvälineet. Olennaisia järjestelmän osia ovat teollisuusrobotit, joiden joustavuuteen koko järjestelmän toimivuus tavallisesti perustuu. [10.]

9 PYSTYKARSINTALAITTEEN KOKOONPANOJÄRJESTYS

Kuvassa 8 on esitetty pystykarsintalaitteen kokoonpanojärjestys. Ensimmäisessä osakokoonpanossa Wolf-sovite liitetään varteen kiinni kahdella M5-kuusiokoloruuvilla. Toisessa osakokoonpanossa on esiasennuksena manuaalisesti liitetty akseli vastaterään. Koukkuterä, jousi ja jousiholkki asennetaan vastaterän akseliin ja jousiholkin kiristys tapahtuu M8-mutterilla.

Loppukokoonpanossa ensimmäiseen osakokoonpanoon liitetään ensin aluslevy, johon on manuaalisesti asennettu teräpaketin holkki. Seuraavaksi kokoonpanoon tuodaan ketju, teräpaketti, välilevy ja etulevy. Ketju kiinnitetään runkoon M4-kuusiokoloruuvilla. Teräpaketti, välilevy ja etulevy kiinnitetään runkoon M6-kuusiokoloruuveilla. Loppukokoonpanon jälkeen manuaalisesti asennettaviksi jää Wolf-muovin lyönti runkoon ja ketjun toisen pään kiinnittäminen vastaterään sekä ruuvien ja mutterin loppukiristys.



Kuva 8. Pystykarsintalaitteen kokoonpanojärjestys

Suurimpia ongelmia pystykarsintalaitteen robotisoidussa kokoonpanossa ovat ahtaat välykset sekä ruuvien, mutterin ja jousiholkin kiertäminen. Kokoonpantavien kappaleiden mahdolliset valmistuksesta johtuvat muotovirheet vaikeuttavat pystykarsintalaitteen automatisoidun

kokoonpanon toistettavuutta. Robotin toistotarkkuus on riittävän tarkka tämänkaltaiseen kokoonpanoon, edellyttäen että kappaleet ovat mittatarkkoja. Osien makasiinit ja kokoonpanoalustat tulisi saada myös mahdollisimman tarkkoiksi, yksinkertaisiksi sekä toimintavarmiksi, jotta kokoonpanon toistettavuus olisi hyvä.

10 TYÖN TOTEUTUS

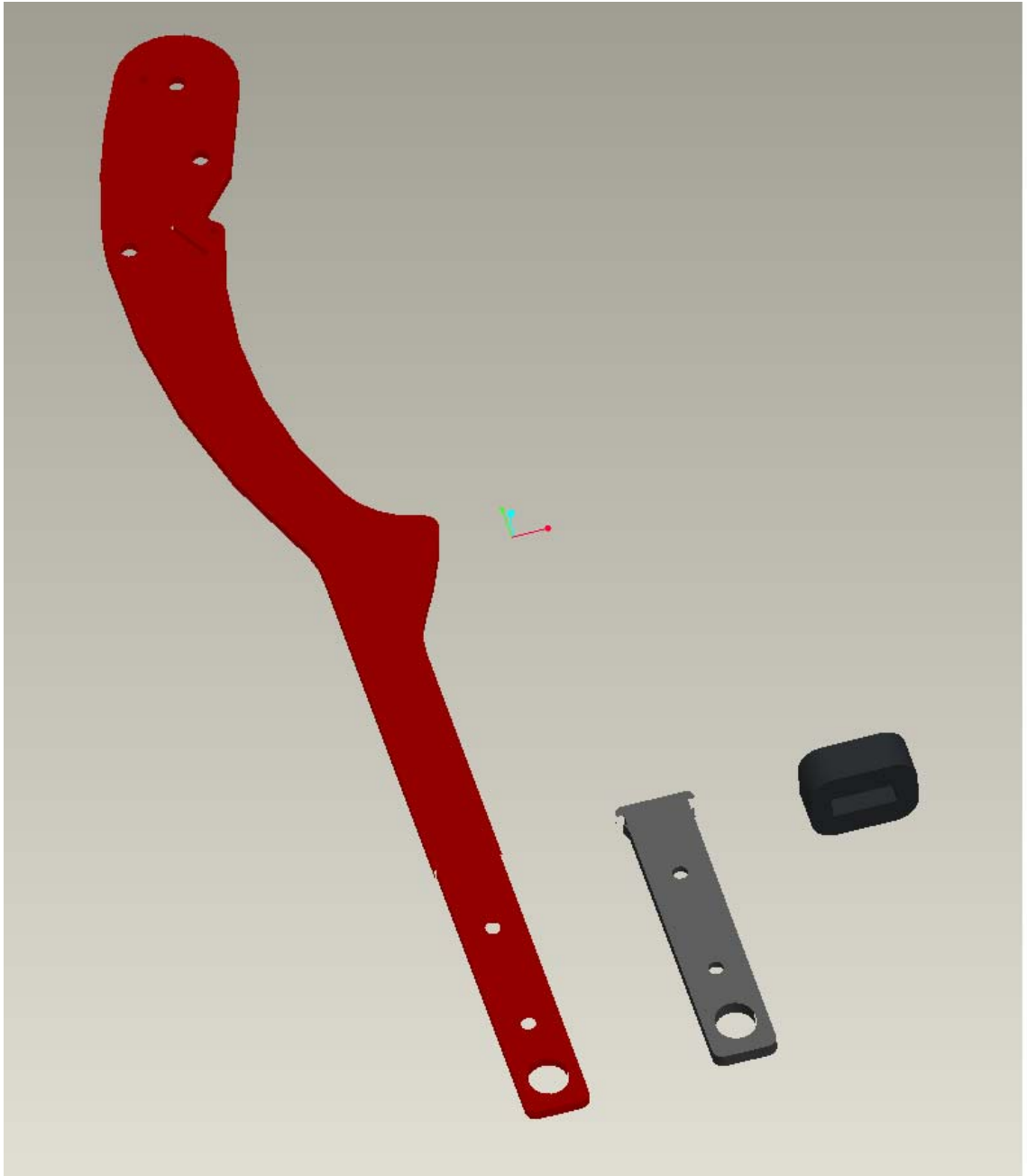
10.1 Kokoonpanoalustojen suunnittelu ja toteutus

Kokoonpanoalustojen suunnittelu aloitettiin, kun kokoonpanojärjestys ja -toimenpiteet saatiin selviksi. Jokaisen osakokoonpanon alusta hahmoteltiin ensin paperille. Alkuvaiheessa erilaisia ratkaisuja tuli useita, joista valittiin toteutuskelpoisimmat. Seuraavassa vaiheessa mallinnettiin kokoonpanoalustat Pro/ENGINEER -ohjelmalla. Alustojen mallinnuksessa käytettiin hyväksi työn tilaajalta saatuja AutoCAD -kuvia. Mallinnuksen jälkeen tehtiin NC-ohjelma Numo5 NC -jyrsinkoneelle käyttäen Pro/ENGINEER -ohjelmaa.

Simuloinnin jälkeen ohjelma siirrettiin jyrsimen käyttämälle PrimCam -ohjelmalle. Kokoonpanoalustat jyrsittiin tämän jälkeen joko MDF- tai vanerilevyille riippuen siitä kumpaa materiaalia käytettiin kyseessä olevassa kokoonpanoalustassa. Osassa kokoonpanoalustoissa käytettiin myös apuna paineilmasylintereitä, joihin on kiinnitetty muovista tai alumiinista valmistettuja työntöpaloja.

10.2 Wolf-sovitteen kiinnittäminen varteen

Wolf-sovite mahdollistaa karsijan kiinnittämisen Wolf-jatkovarteeseen pikakiinnityksellä. Sovitteen ansiosta jatkovarren kiinnittäminen karsijaan on helppoa ja nopeaa. Kiinnitykseen ei tarvita erillistä työkalua. Wolf-sovite koostuu kuvan 9 mukaisesta 4 mm:n vahvuisesta teräksestä leikatusta kappaleesta sekä muovista leikatusta Wolf-muovista. Ainoastaan teräksestä valmistettu Wolf-sovite asennetaan automatisoidussa kokoonpanossa pystykarsintalaitteen varteeseen. Wolf-muovi asennetaan vasta loppuksi manuaalisesti.



Kuva 9. Pystykarsintalaitteen varsi, Wolf-sovite ja -muovi

Alla olevasta taulukosta näemme Wolf-sovitteen kiinnittämisen kokoonpanojärjestyksen.

Taulukko 4. Wolf-sovitteen kiinnittämisen kokoonpanojärjestys

| Osa | Toimenpide | Edeltävät toimenpiteet |
|--------------|----------------------|---|
| Wolf-sovite | Syöttö kokoonpanoon | Osat lastattu makasiineihin |
| Varsi | Syöttö kokoonpanoon | Wolf-sovitteen syöttö |
| M5-ruuvi | Ruuvien kiertäminen | Wolf-sovitteen ja varren syöttö |
| M5-ruuvi | Ruuvien kiertäminen | Wolf-sovitteen ja varren syöttö, M5-ruuvien kiertäminen |
| Valmis runko | Siirto välivarastoon | Wolf-sovitteen ja varren syöttö, M5-ruuvien kiertämiset |

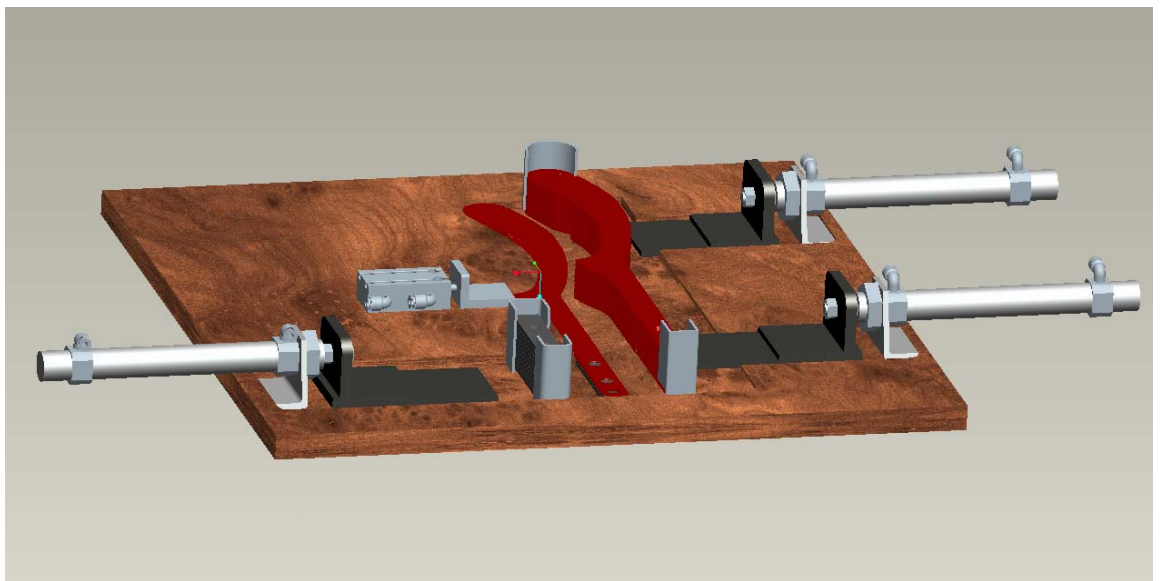
10.2.1 Kokoonpanoalusta

Alkuvaiheessa suunnitelmissa oli, että varsi ja Wolf-sovite nostetaan pystymakasiineista robotilla kokoonpanoalustalle, jossa robotilla ruuvataan kaksi kappaletta M5-kuusiokoloruuvia Wolf-sovitteen kiinnittämiseksi varteen. Tässä ratkaisussa robotti joutuisi tekemään työkalunvaihdon, joka hidastaa kokoonpanon suoritusta. Tavoitteena on saada työkierrosta mahdollisimman lyhyt ja nopea taloudellisuutta unohtamatta.

Parhaimmaksi ratkaisuksi osoittautui kuvan 10 mukainen kokoonpanoalusta joka sisältää sekä varren että Wolf-sovitteen pystymakasiinit. Makasiineihin lastataan käsin kymmenen kappaletta kokoonpanossa tarvittavia osia ja kokoonpanon osat ovat tässä vaiheessa pintakäsittelymättömiä. Osien syöttö kokoonpanoon tapahtuu makasiinien alta paineilmasylinterien avulla. Varren syöttämiseen käytetään kahta paineilmasylinteriä, jolloin varmistetaan varren

suora syöttö kokoonpanoon. Näin ollen robotille jää tehtäväksi ainoastaan M5-kuusiokoloruuvien ruuvaaminen ja valmiin rungon siirtäminen väliavarastoon. Jokaisen sylinterin varteen suunniteltiin luistipalat, joilla osat saadaan työnnettyä kokoonpanoon. Kokoonpanoalusta mallinnettiin Pro/ENGINEER -ohjelmalla ja jyrsittiin Numo 5 NC -jyrsinkoneella vanerilevyyn.

Kun tämä kokoonpanoalusta valmistettiin, huomattiin että se ei ollut toimintavarma, koska pystykarsintalaitteen varsi ei ole aivan suora. Varren valmistusvaiheessa varteen lyödään ketjua varten kolo, josta epäsuoruus johtuu. Kokoonpanoalusta suunniteltiin uudelleen huomioiden varren epäsuoruus. Pystymakasiinit tehtiin pellistä taivuttamalla ne oikeaan muotoon käsin. Luistit mallinnettiin Pro/ENGINEER -ohjelmalla ja jyrsittiin muovista NC-jyrsimellä. Lopulliseen versioon lisäsimme vielä M5-kuusiokoloruuvien makasiinin. Koska ruuvaustyökalu on magneettinen, kokoonpanoalustaan lisättiin sylinteri jolla varmistetaan varren pysyminen paikoillaan kokoonpanon aikana.



Kuva 10. Varren ja Wolf-sovitteen kokoonpanoalusta

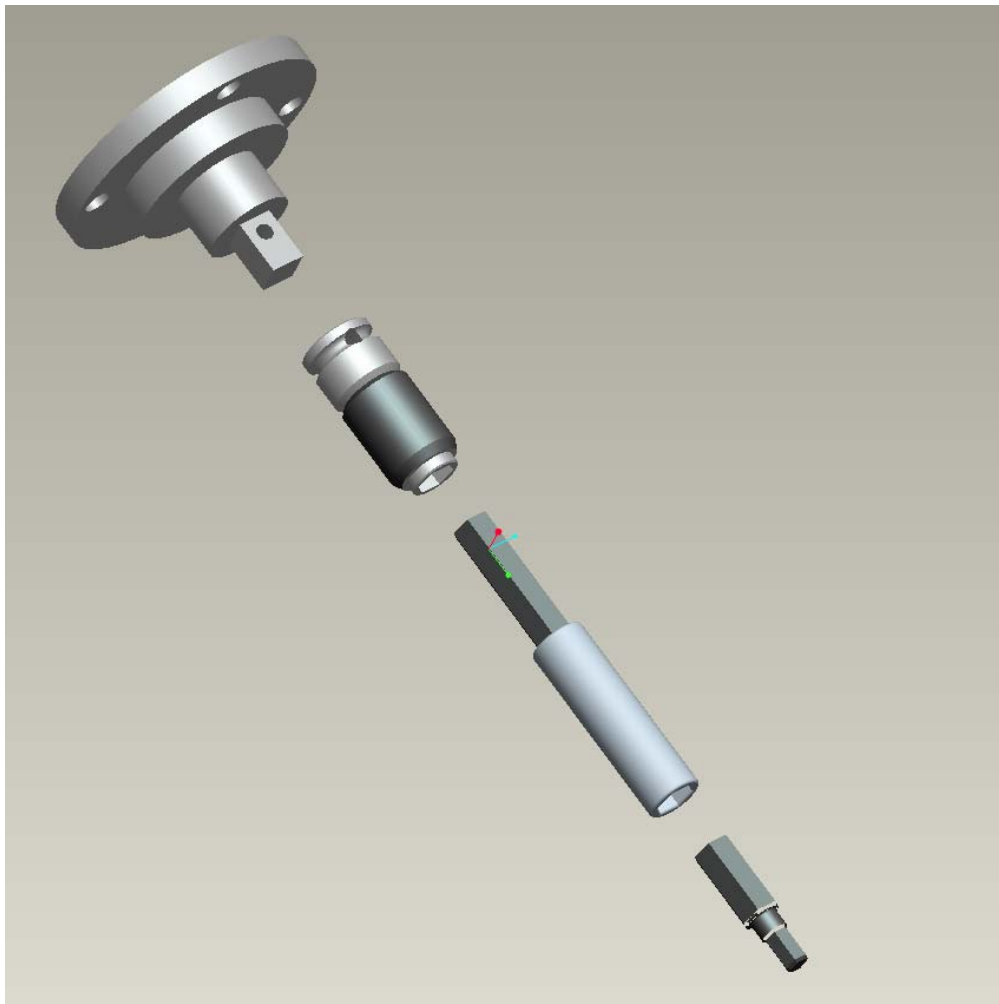
10.2.2 Työkalut

Tässä kokoonpanossa tarvitaan robotilla kahta työkalua, toinen ruuvaamiseen ja toinen valmiin rungon siirtämiseen väliavarastoon.

Ruuvaustyökalu

Kokoonpanoa varten jouduttiin suunnittelemaan ja valmistamaan ruuvaustyökalu. Ruuvaustyökaluun valittiin magneettivarsi, jolla saadaan poimittua ruuvit makasiinista ja vietyä ruuvit kokoonpanoon. Koska kokoonpanossa on kolme erikokoista kuusiokoloruuvia, täytyy työkalussa olla mahdollisuus automaattiseen ruuvauskärjen vaihtoon.

Ruuvaustyökaluun suunniteltiin laippa joka kiinnitetään neljällä M4-kuusiokoloruuvilla SMC Pneumatics Finland Oy:ltä hankittuun työkalunvaihtoyksikköön. Kuvassa 11 ylimpänä oleva laippa mallinnettiin Pro/ENGINEER -ohjelmalla ja valmistettiin alumiinista manuaalisorvil-la ja -jyrsimellä.

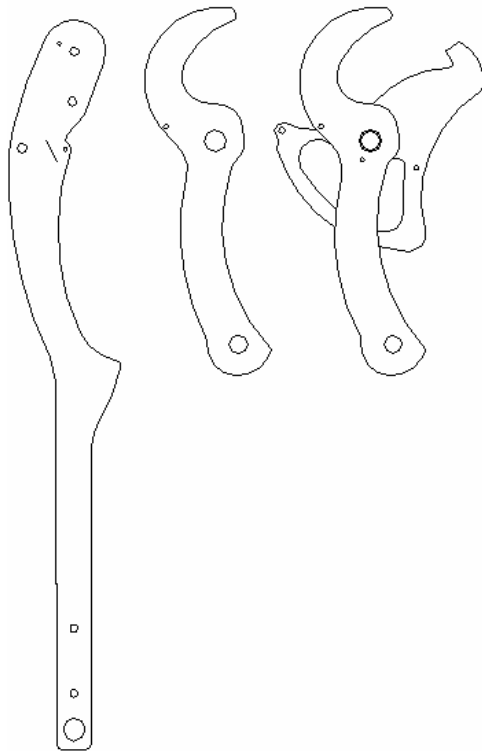


Kuva 11. Ruuvaustyökalu joka koostuu laipasta, adapterista, magneettisesta varresta ja ruuvauskärjestä

Adapteri kiinnitetään laippaan M3-pultilla ja -mutterilla. Adapteri mahdollistaa ruuvaustyökälun magneettisen varren irrottamisen työkalusta. Ruuvauskärki asennetaan magneettivarteen. Tarkoituksena on, että automaattisessa työkalunvaihdossa robotilla vaihdetaan magneettivarsi ruuvauskärkineen työkaluun. Näin ollen tarvitaan kolme magneettivartta joissa on erikoiset ruuvauskärjet.

Alipainetarttuja varrelle

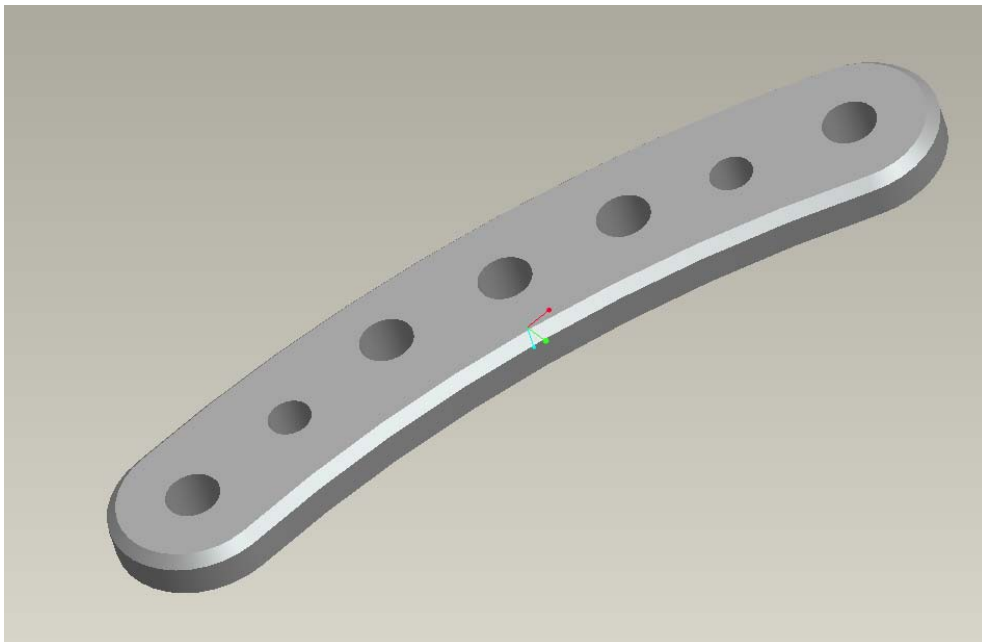
Alipainetarttujan suunnittelu aloitettiin etsimällä pystykarsintalaitteen osista yhteneviä muotoja, jotta yhdellä tarttujalla voisi käsitellä mahdollisimman monia osia. Tutkimuksissa päädyttiin siihen tulokseen, että samalla tarttujalla voidaan käsitellä pystykarsintalaitteen vartta, koukkuterää ja teräpakettia joista löytyy kuvan 12 mukaisesti yhtenevät kaarevat muodot.



Kuva 12. Pystykarsintalaitteen varsi, koukkuterä ja teräpaketti

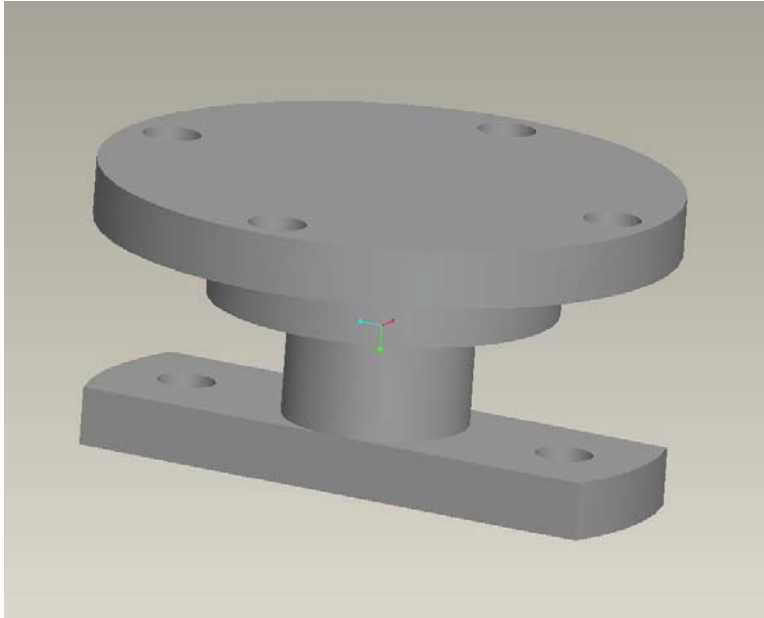
Seuraavaksi pohdittiin tarttujan imukuppien määrää ja kokoa. Imukupeiksi valittiin suurimmat imukupit joilla voidaan tarttua kyseisiin kappaleisiin. Imukuppien halkaisijaksi valittiin 16 millimetriä. Tarttujaan laitettiin neljä imukuppia tartunnan varmistamiseksi, koska tartunta ei aina tapahdu kappaleen painopisteen kohdalta. Laskennallisen tuloksen perusteella alipainetarttujaan olisi riittänyt yksi alipaine-ejektori. Pohdintojen jälkeen päädyttiin valitsemaan kaksi ejektoria, jolloin tartunta työkappaleesta on varmempi. Tämä myös mahdollistaa vasta-terän käsittelyn tällä tarttujalla, koska alipaine voidaan ohjata pelkästään kahteen imukoppiin kerrallaan. Imukupit aseteltiin kuitenkin siten, että kappaleeseen kohdistuva tartunta-alue on mahdollisimman suuri.

Kun pystykarsintalaitteen osista löydettiin yhtenevät muodot ja imukuppien määrä saatiin selvitettyä, aloitettiin imukuppien asennuslevyn suunnittelu tarttujaan. Imukuppien paikat mitattiin suoraan pystykarsintalaitteen rungosta, ja imukuppien asennuslevy mallinnettiin kuvan 13 mukaiseksi Pro/ENGINEER -ohjelmalla. Imukuppien asennuslevyn reiät tehtiin digitaalinäytöllä varustetulla manuaalijyrsimellä ja asennuslevyn ulkomuoto työstettiin nauha-hiomakoneella.



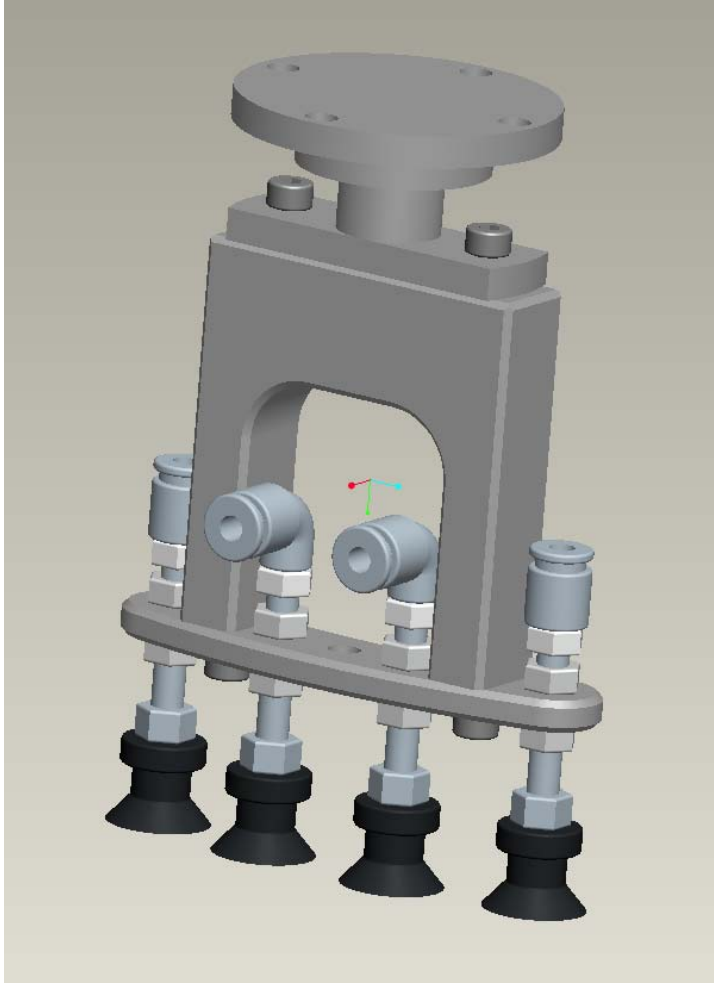
Kuva 13. Alipainetarttujan imukuppien asennuslevy

Seuraavaksi suunniteltiin Pro/ENGINEER -ohjelmalla kuvan 14 mukainen alipainetarttujan laippa, jolla tarttuja voidaan kiinnittää robotin työkalunvaihtoyksikköön. Laippa sorvattiin manuaalisorvilla halkaisijaltaan 50 millimetrin alumiinitangosta ja laipan suorat pinnat jyrstettiin manuaalijyrsimellä.



Kuva 14. Alipainetarttujan laippa

Alipainetarttujan laipan ja imukuppien väliin täytyi myös suunnitella välikappale, joilla kyseiset kappaleet saadaan liitettyä toisiinsa. Tämän osan suunnittelussa tuli ottaa huomioon imukuppien paineilmaläyttimien vaatima tila. Välikappaleesta mallinnettiin kuvan 15 mukainen kappale Pro/ENGINEER -ohjelmalla ja se jyrsittiin manuaalijyrsimellä alumiinista. Laipan ja imukuppien kiinnitystä varten tehtiin M5-kierrereiät kierretapilla jonka jälkeen valmiit osat hiekkapuhallettiin.



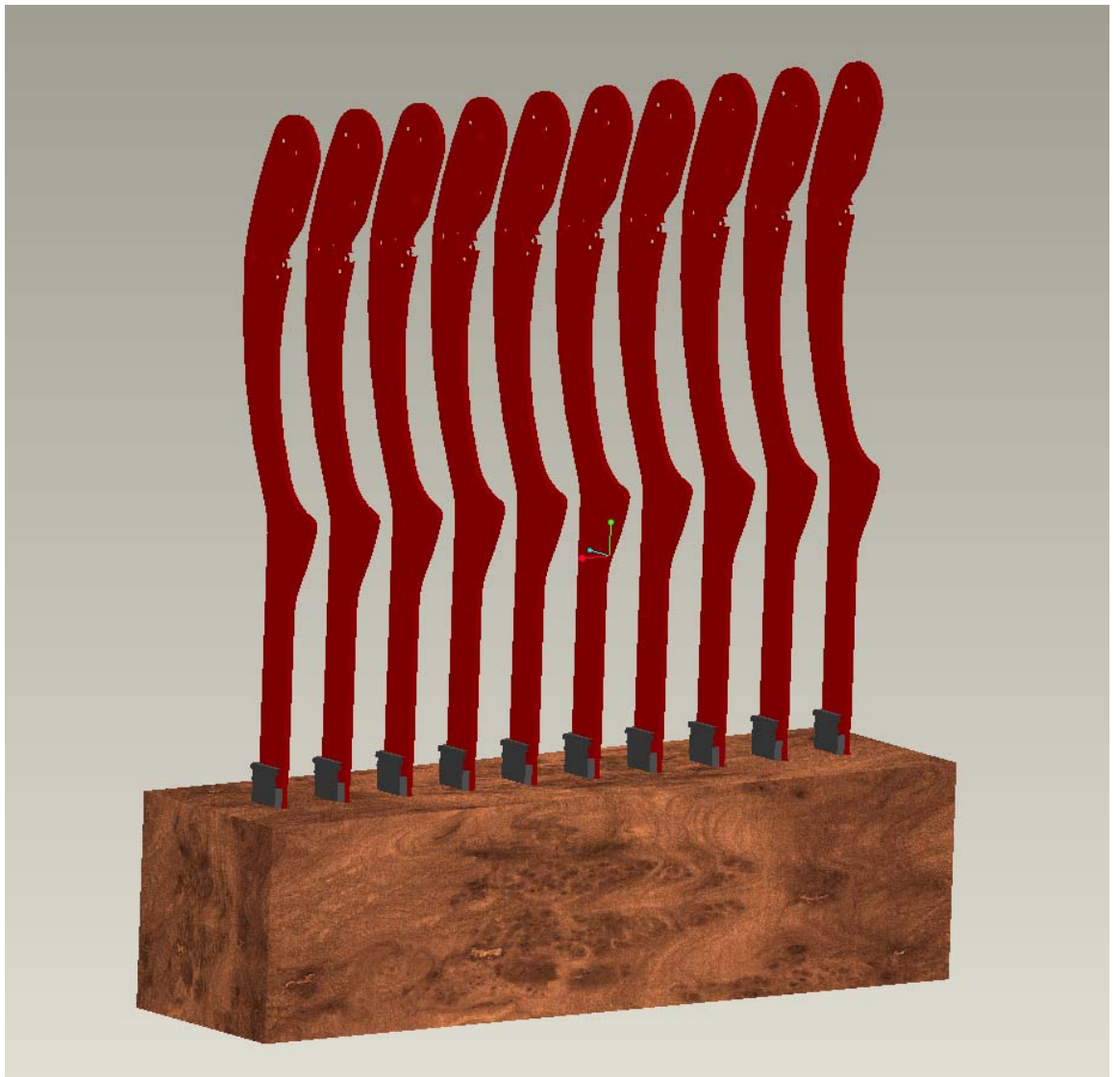
Kuva 15. Alipainetarttuja ilman paineilmajohtimia ja alipaine-ejektoreita

Imukuppien asennuslevy ja alipainetarttujan laippa kiinnitettiin välikappaleeseen M5-kuusiokoloruuveilla. Imukupit, ejektorit ja paineilmaletkujen liittimet tilattiin SMC Pneumatics Finland Oy:ltä.

10.2.3 Rungon välivarasto

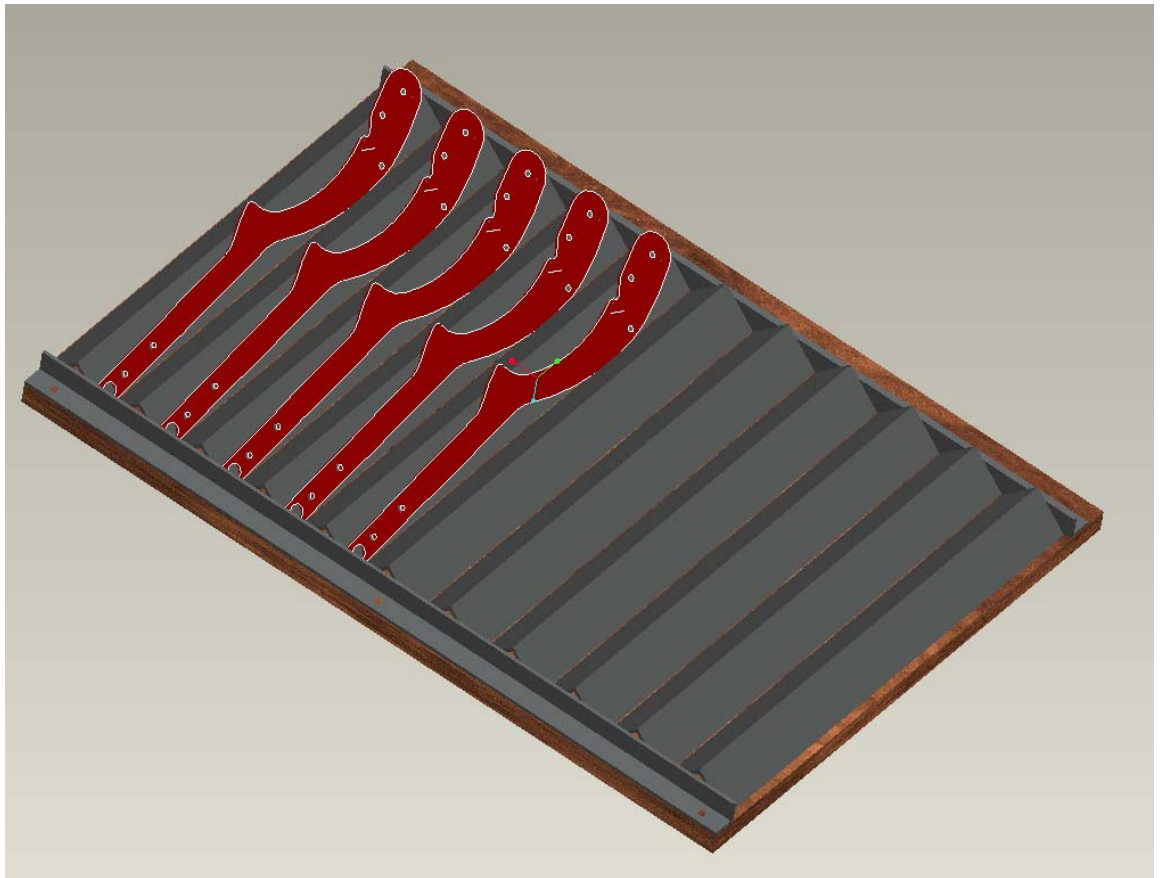
Rungon välivaraston suunnittelussa tuli ottaa huomioon se, että loppukokoonpanossa runko tulisi olla toisinpäin kuin Wolf-kokoonpanossa. Tämän seurauksena runko tulee kääntää ennen loppukokoonpanoa.

Aluksi suunniteltiin kuvan 16 mukainen välivarasto. Tässä ratkaisussa runko tuodaan alipainetarttujalla pystyasennossa välivarastoon, jolloin on mahdollista tarttua ensimmäisenä tuotuun runkoon vastakkaiselta puolelta. Tämä ratkaisu hylättiin, koska runko pyrkii kallistumaan välivarastossa, jolloin toistotarkkuus heikkenee.



Kuva 16. Periaatekuva välivarastosta, jossa rungot ovat sijoitettu pystyasentoon

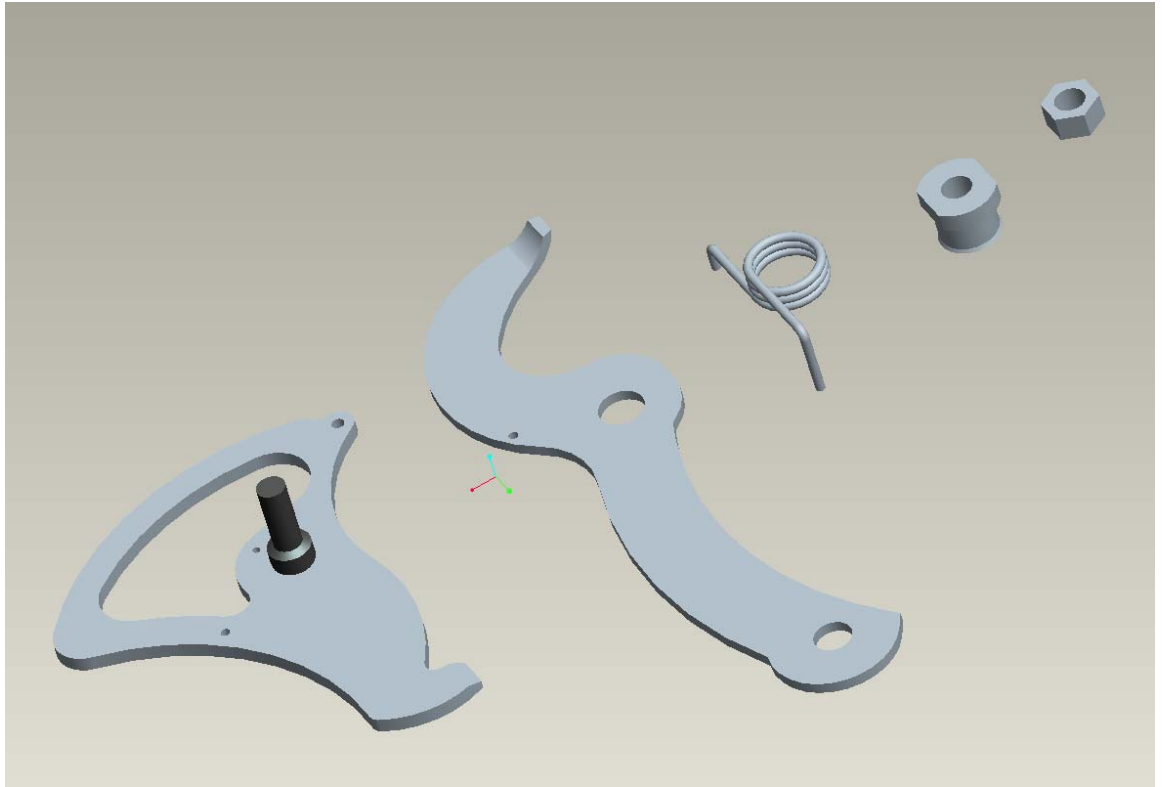
Pohdintojen jälkeen päädyttiin ratkaisuun, jossa rungot tuodaan alipainetarttujalla kuvan 17 mukaiseen välivarastoon. Välivarastossa on 90 asteen urat, jotka on tehty $40 \times 40 \times 3$ mm:n kulmaraudasta hitsaamalla. Toimintaperiaatteena on, että runko tuodaan uran toiselle kyljelle, josta robotti voi kääntää rungon toiselle kyljelle yksinkertaisesti työntämällä runkoa tarttujalla. Toisena vaihtoehtona rungon kääntöön tässä välivarastossa olisi kääntää kaikki rungot yhdellä kerralla välivaraston sivulle sijoitetulla paineilmasylinterillä. Ajanpuutteen vuoksi jälkimmäistä vaihtoehtoa ei toteutettu, vaikka se on ratkaisuna yksinkertainen ja toimiva.



Kuva 17. Rungon välivarasto

10.3 Teräpaketin kokoonpano

Tässä kokoonpanossa on tarkoituksena kokoonpanna vastaterä, koukkuterä, jousi, jousiholkki ja M8-mutteri (kuva 18). Vastaterään on valmiiksi käsityönä kierteellä kiinnitetty nivelakseli.



Kuva 18. Pystykarsintalaitteen vastaterä, koukkuterä, jousi, jousiholkki ja M8-mutteri

Taulukossa 5 on esitetty teräpaketin kokoonpanojärjestys. Taulukosta selviää myös edeltävät toimenpiteet, jotka täytyy olla suoritettuna ennen seuraavaa työvaihetta.

Taulukko 5. Teräpaketin kokoonpanojärjestys

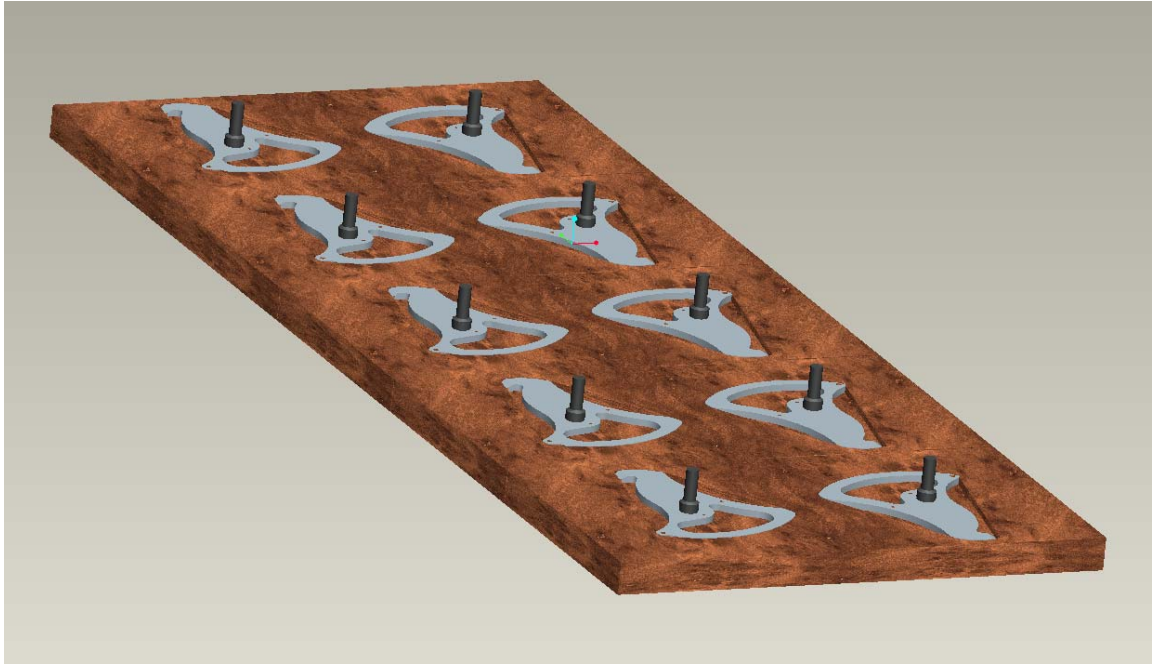
| Osa | Toimenpide | Edeltävä toimenpide |
|-------------|-------------------------|---|
| Vastaterä | Syöttö kokoonpanoon | Osat lastattu makasiineihin |
| Koukkuterä | Syöttö kokoonpanoon | Vastaterän syöttö |
| Jousi | Syöttö kokoonpanoon | Vastaterän ja koukkuterän syöttö |
| Jousiholkki | Jousiholkin kiertäminen | Vastaterän, koukkuterän ja jousen syöttö |
| Mutteri | Mutterin kiertäminen | Vastaterän, koukkuterän ja jousen syöttö, jousiholkin kiertäminen |
| Teräpaketti | Siirto väliavarastoon | Vastaterän, koukkuterän ja jousen syöttö, jousiholkin ja mutterin kiertäminen |

10.3.1 Makasiinit

Vastaterän makasiini

Vastaterän makasiinista suunniteltiin mahdollisimman yksinkertainen, josta on helppo robotin alipainetarttujalla poimia vastaterä kokoonpanoalustalle. Aluksi suunniteltiin, että makasiinit koostuvat kahdesta vanerilevystä ja molempiin levyihin olisi jyrsitty paikat viidelle vastaterälle. Tilan säästämiseksi joka toinen vastaterä oli aseteltu makasiiniin vastakkaisuuntaisesti.

Suunnittelun edetessä tultiin siihen tulokseen, että käytetään samaa makasiinilevyä vastaterille ja teräpaketeille. Suunnittelu aloitettiin tuomalla teräpaketin muodot AutoCAD -ohjelmasta Pro/ENGINEER -ohjelmaan. Vastaterien sijoittelussa otettiin myös huomioon teräpaketin vaatima tila. Kun makasiini saatiin mallinnettua kuvan 19 mukaiseksi, tehtiin Pro/ENGINEER -ohjelmalla NC-jyrsinohjelma. Makasiini jyrsittiin NC-jyrsinkoneella.

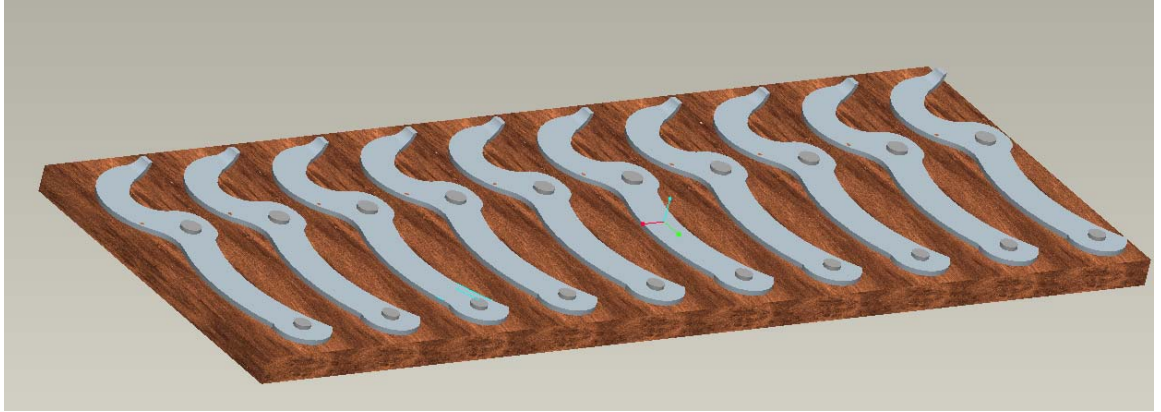


Kuva 19. Vastaterän makasiini, johon voidaan varastoida myös teräpaketti

Koukkuterän makasiini

Aluksi koukkuterän makasiini suunniteltiin toteutettavaksi samankaltaisesti kuin vastaterän makasiini, eli jyrsimällä koukkuterille kolot vanerilevyyn. Koukkuterät sijoiteltaisiin mahdollisimman lähekkäin tilan säästämiseksi. Kaikki kymmenen koukkuterää sopivat kuvan 20 mukaiselle 600×220 mm:n vanerilevyille.

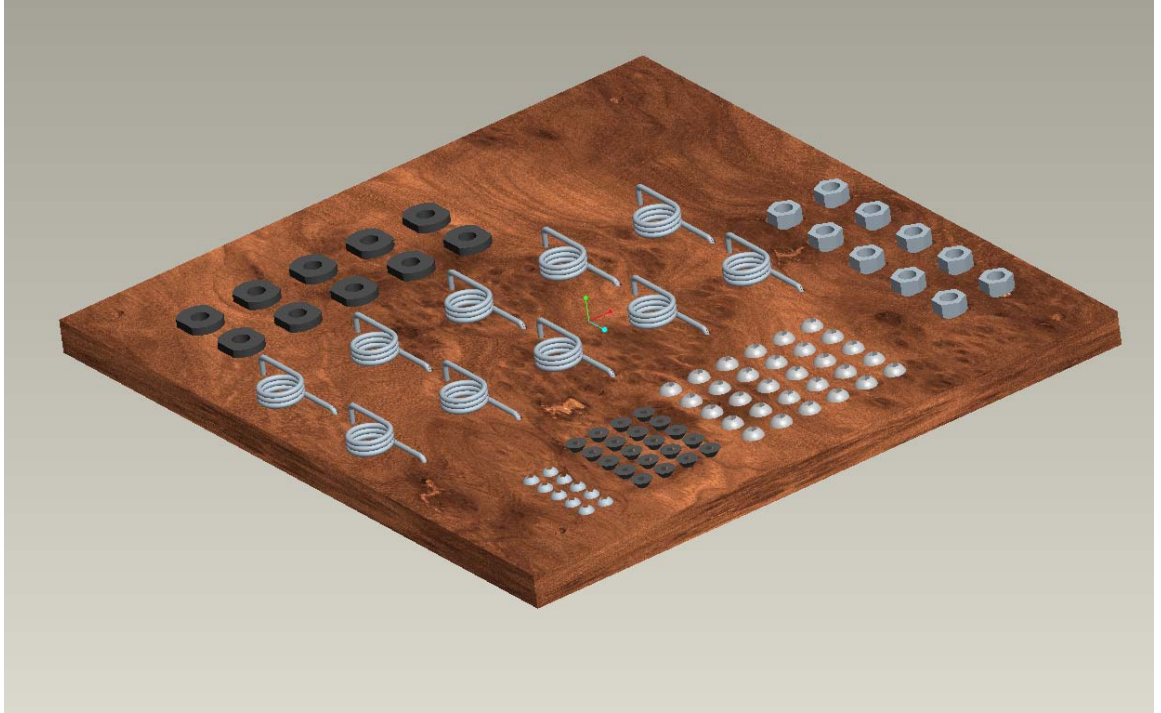
Koneistusajan vähentämiseksi päätettiin tehdä koukkuterän makasiini tappikohdistusta käyttäen, joten vanerilevyyn ei tarvitse koneistaa muuta kuin kohdistustappien kolot. Kohdistustappien koloihin asennetaan halkaisijaltaan 10 mm:n akselista tehdyt kohdistustapit. Koukkuterät poimitaan kokoonpanoalustalle aikaisemmin suunnitellulla robotin alipainetarttujalla.



Kuva 20. Koukkuterän makasiini

Jousen makasiini

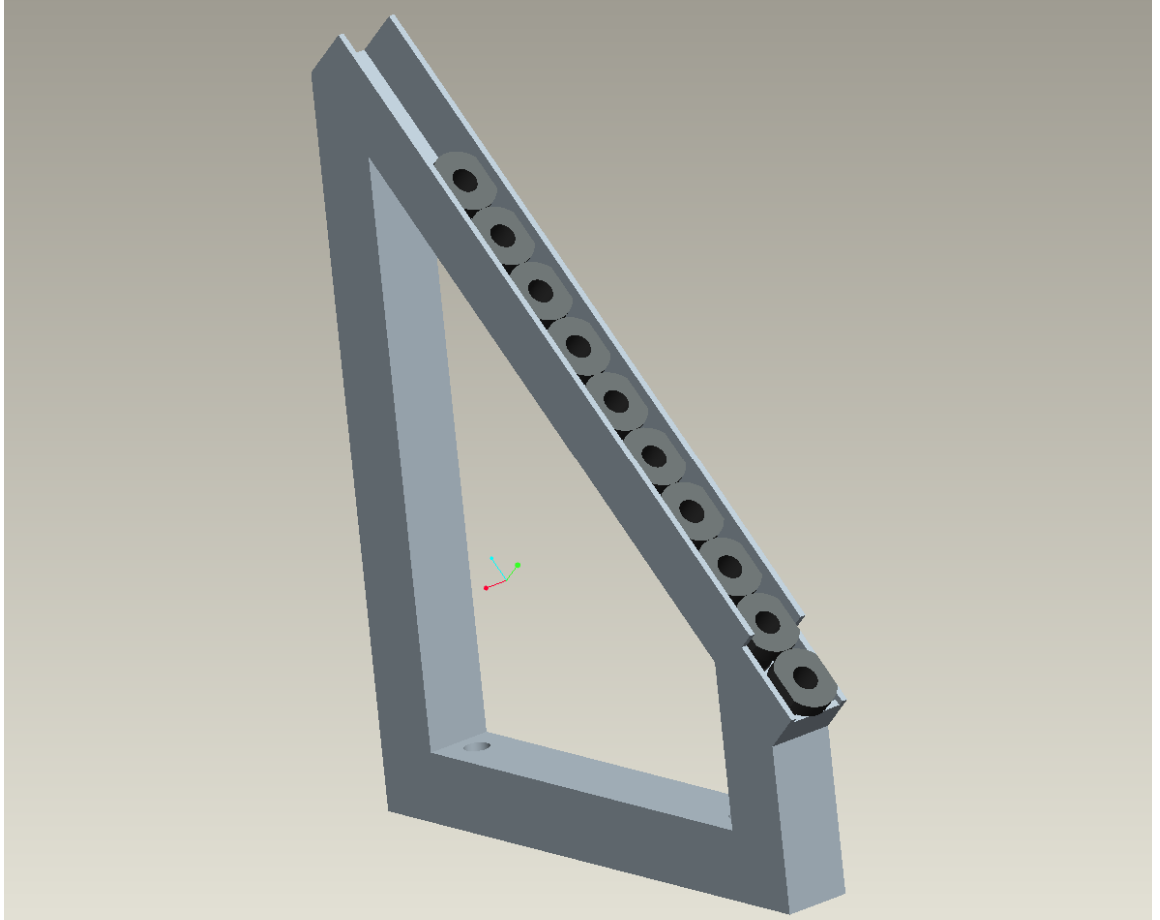
Jousen makasiinin suunnittelu aloitettiin mittaamalla jousen tappien välinen etäisyys. Makasiini on kuvan 21 mukaisesti palettimainen, ja jouset asetellaan makasiiniin kahteen riviin käsin. Jouset poimitaan makasiinista keskittävällä kolmileukatarttujalla. Samaan makasiiniin sijoitettiin myös kaikki kokoonpanossa tarvittavat ruuvit, kukin omaan ryhmään matriisimaisesti vakioetäisyyksille. Makasiini suunniteltiin Pro/ENGINEER -ohjelmalla, jolla oli myös helppo tehdä NC-poraustyökierto-ohjelma. Poraustyökierto tehtiin Numo5 NC -jyrsinkoneella.



Kuva 21. Jousiholkin, jousen, ruuvien ja muttereiden makasiini

Jousiholkin makasiini

Jousiholkin makasiinin suunnittelussa tuli ottaa huomioon se, että holkki olisi aina samassa asennossa makasiinissa, josta se olisi helppo poimia kokoonpanoon. Aluksi suunniteltiin jousiholkille kuvan 22 mukaista putkimaista makasiinia, jossa holkit ovat sijoitettu 18×18 mm:n neliöputken sisään peräkkäin. Putki asetetaan sen verran kallelleen, että holkit liukuvat omalla painolla noutopisteeseen, josta robotti noutaa holkin. Tästä ratkaisusta päätettiin luopua, koska se todettiin epäkäytännölliseksi. Holkin noutoa putkimaisesta makasiinista vaikeuttaa se, että noudettavassa holkissa on seuraava holkki kiinni. Tutkimuksissa todettiin myös, että holkit eivät liukuneet putkessa jouhevasti ja putken kokoa suurentamalla holkki olisi pyrkinyt kääntymään noudon kannalta väärään asentoon.



Kuva 22. Periaatekuva putkimaisesta jousiholkin makasiinista

Lopullisessa ratkaisussa päädyttiin MDF-levystä valmistettuun palettimakasiiniin, johon jousiholkit asetellaan käsin. Levyyn on jyrstetty NC-jyrstimellä paikat holkeille, jolloin holkit ovat aina noudettaessa oikeassa asennossa ja paikassa. Tämän ratkaisun etuina ovat sen helppo valmistus ja tarkat noutopisteet, joita voidaan hyödyntää robottia ohjelmoidessa. Makasiini on tarkoitus sijoittaa kuvan 21 mukaisesti ruuvi- ja jousimakasiinin kanssa samalle levyille, jolloin säästetään työtilaa ja makasiiniin on helppo asetella kaikki tarvittavat osat yhdellä kertaa. Koska makasiini on suunniteltu Pro/ENGINEER -ohjelmalla matriisimaiseksi ja jyrstetty NC-jyrstimellä, saadaan yhdellä työkappalekoordinaatiston määrittämisellä ohjelmoitua kaikkien ruuvien, jousien ja jousiholkkien paikkatiedot samaan työkappalekoordinaatistoon.

M8-mutterin makasiini

Suunniteltaessa M8-mutterin makasiinia yhtenä vaihtoehtona olisi ollut hankkia lieriötärösyötin. Lopullisessa ratkaisussa päätettiin käyttää hyväksi edellistä makasiinilevyä, johon oli jo sijoitettu ruuvit, jouset sekä jousiholkit. MDF-levyyn jyrsittiin M8-muttereille neliön muotoiset kolot joihin mutterit ladotaan käsin. Kuusikulmaisesta kolosta mutterille päätettiin luopua tässä makasiinissa, koska alle 180 asteen kulmaa ei saa jyrsittyä teräväksi varsijyrsimellä. Oikean mittainen neliön muotoinen kolo on riittävän tarkka mutterin paikoitukseen. Koska päätettiin käyttää samaa makasiinilevyä, saatiin säästettyä työtilaa ja aikaa joka olisi mennyt suunniteltaessa ja valmistettaessa muunlaista makasiinia.

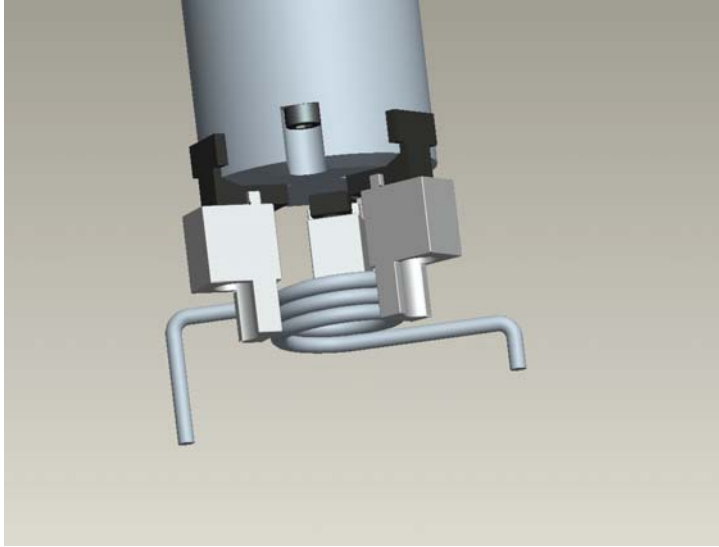
10.3.2 Työkalut

Alipainetarttuja vasta- ja koukkuterälle

Koska alipainetarttuja suunniteltiin toimimaan kahdella alipaine-ejektorilla, voidaan sillä tuoda myös vastaterä makasiinista kokoonpanoalustalle käyttämällä yhdellä ejektorilla kahta imukuppia. Käyttämällä kaikkia neljää alipainetarttujan imukuppia kahdella ejektorilla, saadaan koukkuterä tuotua kokoonpanoon ja valmis teräpaketti siirrettyä välivarastoon.

Kolmileukatarttuja jouselle

Jouselle täytyi suunnitella tarttujan leuat, jotka asennetaan koululta löytyvään SMC:n MHS3-20D -tarttujarunkoon (kuva23). Kyseisen tarttujarungon leukojen kiinnittimien liikematka on 2 mm ja jousen ulkohalkaisija 22 mm. Tämän seurauksena tarttujan leuoista suunniteltiin sellaiset, että leukojen ollessa auki leukojen välinen halkaisija on 24 mm ja leukojen ollessa kiinni leukojen välinen halkaisija on 20 mm. Kolmileukatarttuja on itsekeskittävä sylinterimäisille kappaleille.



Kuva 23. Kolmileukatarttuja jouselle

Jousiholkin ja M8-mutterin ruuvaustyökalu

Näissä ruuvaustyökalussa käytetään kuvien 24 ja 25 mukaisesti samaa laippaa ja adapteria kuin aikaisemmin suunnitellussa ruuvaustyökalussa. Jousiholkki tarttuu työkaluun työkalun magneettisuuden takia. Jousiholkin hylsy olisi tarkoitus valmistuttaa alihankkijalla, koska se ei ole standardituote. Hylsy on suunniteltu käyttäen apuna jousiholkin muotoja.

M8-mutterin ruuvaustyökalussa on käytetty standardihylsyä, johon on tarkoitus teettää välikappale hylsyn liittämiseen adapteriin jyrsimällä. Työkalu on tarkoitus magnetisoida, jonka avulla mutteri saadaan noudettaessa pysymään työkalussa paikoillaan.



Kuva 24. Jousiholkin ruuvaustyökalu



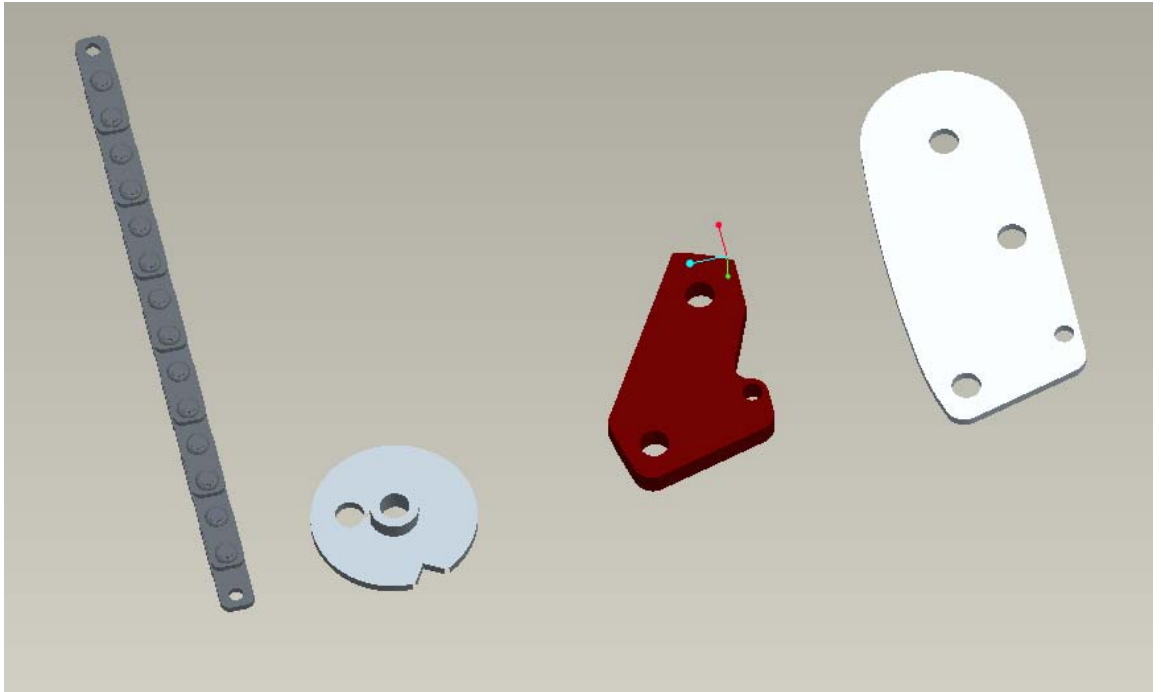
Kuva 25. M8-mutterin ruuvaustyökalu

10.3.3 Teräpaketin välivarasto

Teräpaketin välivaraston suunnittelu aloitettiin tutkimalla jo valmiiksi mallinnettua teräpakettia. Alkuvaiheessa oli taas monia erilaisia vaihtoehtoja välivarastosta, niistä käyttökelpoisimmaksi vaihtoehdoiksi jäi varastoida teräpaketit pysty - tai vaaka-asentoon. Pystyasentoon varastoinnista todettiin, että teräpaketit pyrkivät kallistumaan välivarastossa, jolloin toistotarkkuus heikkenee. Lopuksi päädyttiin varastoimaan teräpaketti vaaka-asentoon vastaterän makasiiniin, jonka hyviä puolia on tarkka paikoitus ja hyvä toistettavuus.

10.4 Rungon ja teräpaketin kokoonpano

Tässä kokoonpanossa on tarkoituksena asentaa aikaisemmin kokoonpannut osakokonaisuudet, runko ja teräpaketti. Rungon ja teräpaketin kokoonpanossa asennetaan myös aluslevy, ketjun toinen pää, välilevy, etulevy ja ruuvit (kuva 26). Aluslevyyn on manuaalisesti esiasennettu teräpaketin holkki johtuen teräpaketin holkin ahtaasta sovitteesta. Taulukossa 6 on esitetty tämän kokoonpanon toimenpiteet.



Kuva 26. Ketju, aluslevy, välilevy ja etulevy

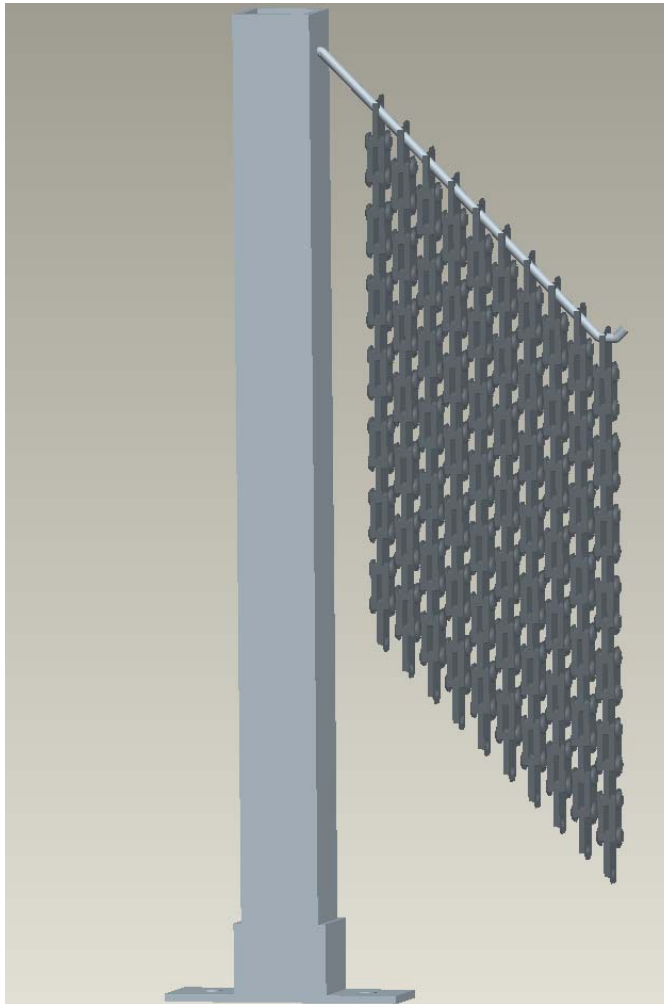
Taulukko 6. Rungon ja teräpaketin kokoonpanojärjestys

| Osa | Toimenpide | Edeltävä toimenpide |
|---|--------------------------|--|
| Runko | Nouto kokoonpanoon | Osat lastattu makasiineihin |
| Ketju | Nouto kokoonpanoon | Rungon nouto |
| Välilevy | Nouto kokoonpanoon | Rungon ja ketjun nouto |
| Aluslevy | Nouto kokoonpanoon | Rungon, ketjun ja välilevyn nouto |
| Teräpaketti | Nouto kokoonpanoon | Rungon, ketjun, välilevyn ja aluslevyn nouto |
| Etulevy | Nouto kokoonpanoon | Rungon, ketjun, välilevyn, aluslevyn ja teräpaketin nouto |
| Ruuvit | Kiertäminen | Rungon, ketjun, välilevyn, aluslevyn, teräpaketin ja etulevyn nouto |
| Valmis teräpaketin ja rungon kokoonpano | Siirto loppukokoonpanoon | Rungon, ketjun, välilevyn, aluslevyn, teräpaketin ja etulevyn nouto, ruuvien kiertäminen |

10.4.1 Makasiinit

Ketjumakasiini

Ketjumakasiinia suunniteltaessa todettiin, että ketju tulisi olla teipattuna suoraksi. Ilman teippausta ketju pyrkii hallitsemattomasti kääntyilemään, jolloin sen asettaminen robotilla kokoonpanoalustalle olisi mahdotonta. Ketjumakasiini päätettiin valmistaa 3 mm:n teräslangasta ja 20×20 mm:n neliöputkesta kuvan 27 mukaisesti siten, että ketju valuu noutopisteeseen omalla painollaan. Ketjumakasiini asetetaan alapäästä rungon ja teräpaketin kokoonpanoalustalle. Noutopisteestä ketju noudetaan kokoonpanoon kaksileukaisella tarttujalla.

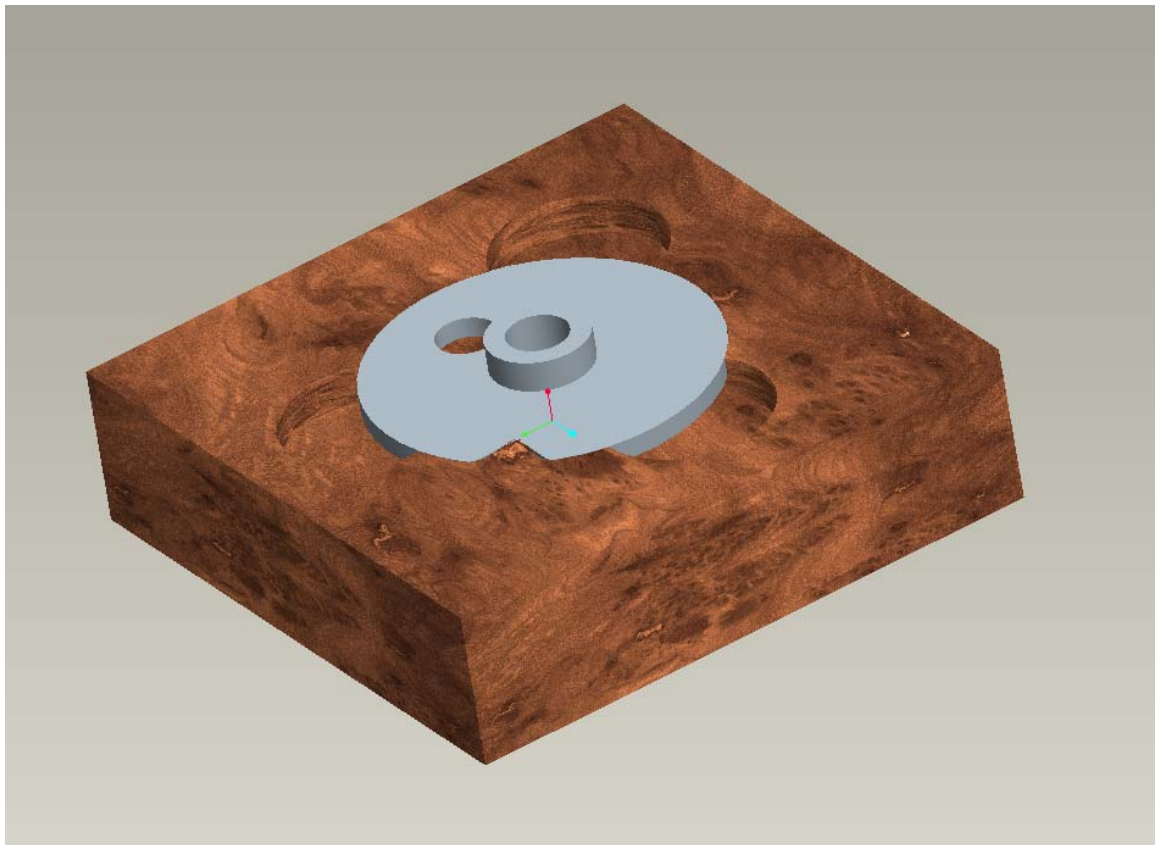


Kuva 27. Ketjumakasiini

Aluslevyn makasiini

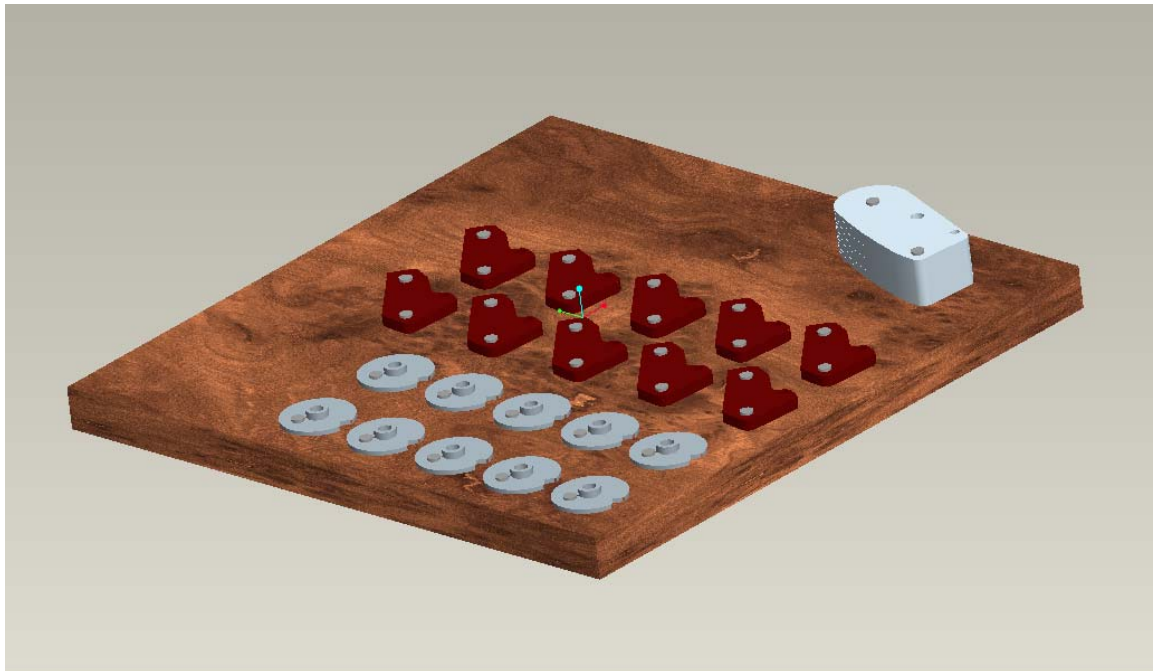
Aluslevyn makasiinin suunnittelussa tuli ottaa huomioon tarttujan leukojen vaatima tila ja se, että aluslevy on noudettaessa aina samassa asennossa. Aluslevy on 2 mm:n vahvuisesta teräksestä leikattu levy. Jos aluslevy upotettaisiin makasiinilevyyn, kolmileukatarttuja ei saisi tarpeeksi tartuntapintaa syvyysuunnassa aluslevystä aiheuttaen epävarman tartunnan. Noutaessa aluslevyä tarttuja joutuisi myös niin lähelle makasiinilevyä, että tarttujalla olisi vaara törmätä makasiinilevyyn.

Aluksi suunniteltiin, että makasiinilevyyn tehtäisiin kuvan 28 mukaisesti 2 mm:n upotus aluslevylle sekä 4 mm:n upotus kolmileukatarttujan leuoille. Tällä ratkaisulla voitaisiin välttää tarttujan törmääminen makasiinilevyyn. Tämä ratkaisu kuitenkin osoittautui liian monimutkaiseksi valmistaa ja paikoitus ei olisi riittävän tarkka verrattuna ohjuritappien käyttöön.



Kuva 28. Periaatekuva aluslevyn makasiinista, jossa upotus aluslevylle

Tutkimuksia jatkettaessa päädyttiin ohjuritappien käyttöön, jolloin makasiinilevyyn tulisi kaksi ohjuritappi aluslevyä kohden. Näiden ohjuritappien avulla aluslevy keskittyisi oikeaan asentoon. Aluslevyt asetellaan makasiiniin matriisimaisesti kuvan 29 mukaisesti. Ohjuritappien paikat päätettiin porata NC-jyrsimellä MDF-levylle, jolloin saadaan ohjuritapit tarkasti oikeille paikoille. Porauksen jälkeen ohjuritappien reikiin asennetaan kaksi 6 mm:n paksuista ohjuritappia aluslevyä kohden.



Kuva 29. Alus-, väli- ja etulevyn makasiini

Välilevyn makasiini

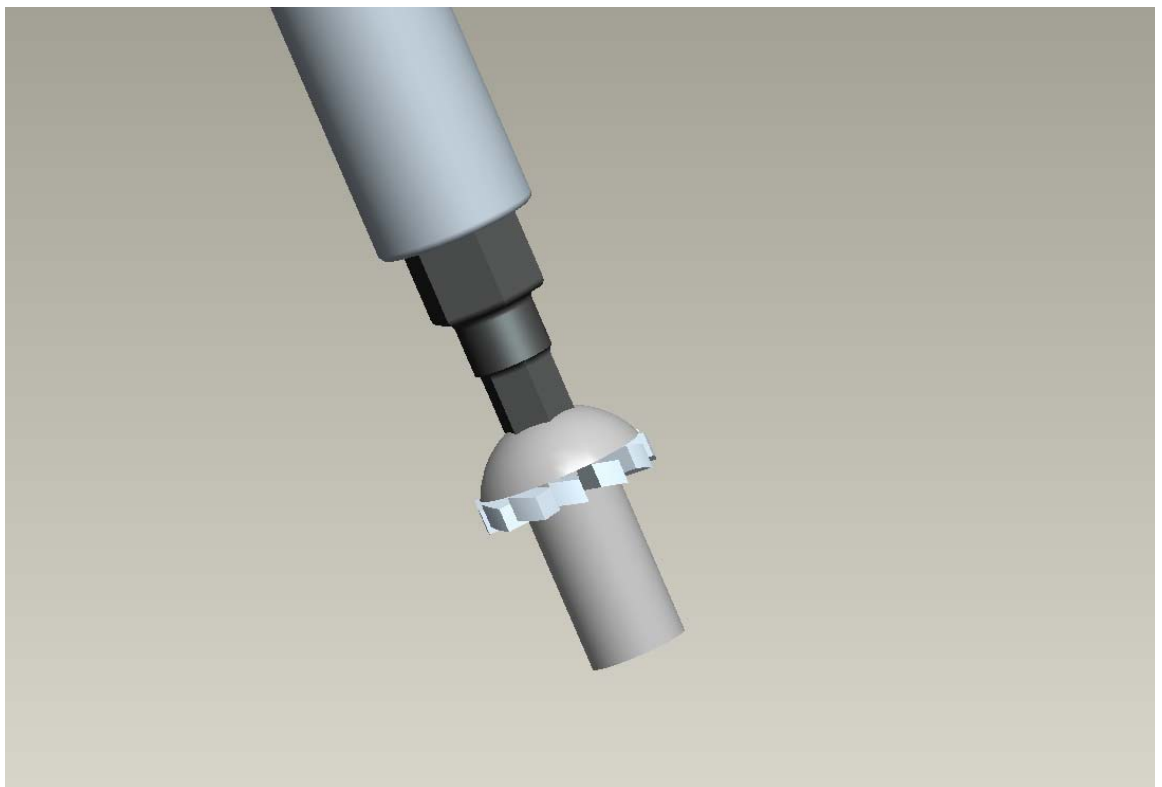
Välilevyn makasiinin suunnittelu aloitettiin tutkimalla, minkälaisella tarttujalla välilevy noudetaan kokoonpanoon. Aiemmin suunnitelluista tarttujista alipainetarttuja oli sopiva välilevyn käsittelyyn käyttämällä kahta imukuppia. Makasiinilevyn suunnittelussa tuli ottaa myös huomioon tarttujan vaatima tila noudettaessa välilevyä. Tutkimuksissa tultiin siihen tulokseen, että välilevyt asetellaan makasiinilevyyn tappikohdistuksella aluslevyjen tapaan. Makasiinilevynä päätettiin käyttää samaa levyä kuin aluslevyissäkin, ja välilevyt asetellaan makasiinin matriisimaisesti käsin ennen kokoonpanoa.

Etulevyn makasiini

Etulevyn makasiini päätettiin valmistaa kuvan 29 mukaisesti aluslevyjen ja välilevyjen kanssa samalle makasiinilevyille, tilan säästämisen vuoksi sekä jyrkimisen helpottamiseksi. Etulevyn muotoja tutkittaessa huomattiin, että sen nouto olisi helppo suorittaa aiemmin suunnitellulla alipainetarttujalla, käyttäen kahta imukuppia neljästä. Etulevyt on valmistettu 2 mm:n teräksestä, joten ne päätettiin pinota ohjuritappien avulla päällekkäin. Suunnitellut ohjuritapit tulevat 23 mm makasiinilevystä ulos, joten ne eivät häiritse alipainetarttujaa noudettaessa etulevyjä. Päällekkäin sijoiteltaessa etulevyt vievät huomattavasti vähemmän tilaa kuin matrisimaisesti sijoiteltuna.

Ruuvien makasiini

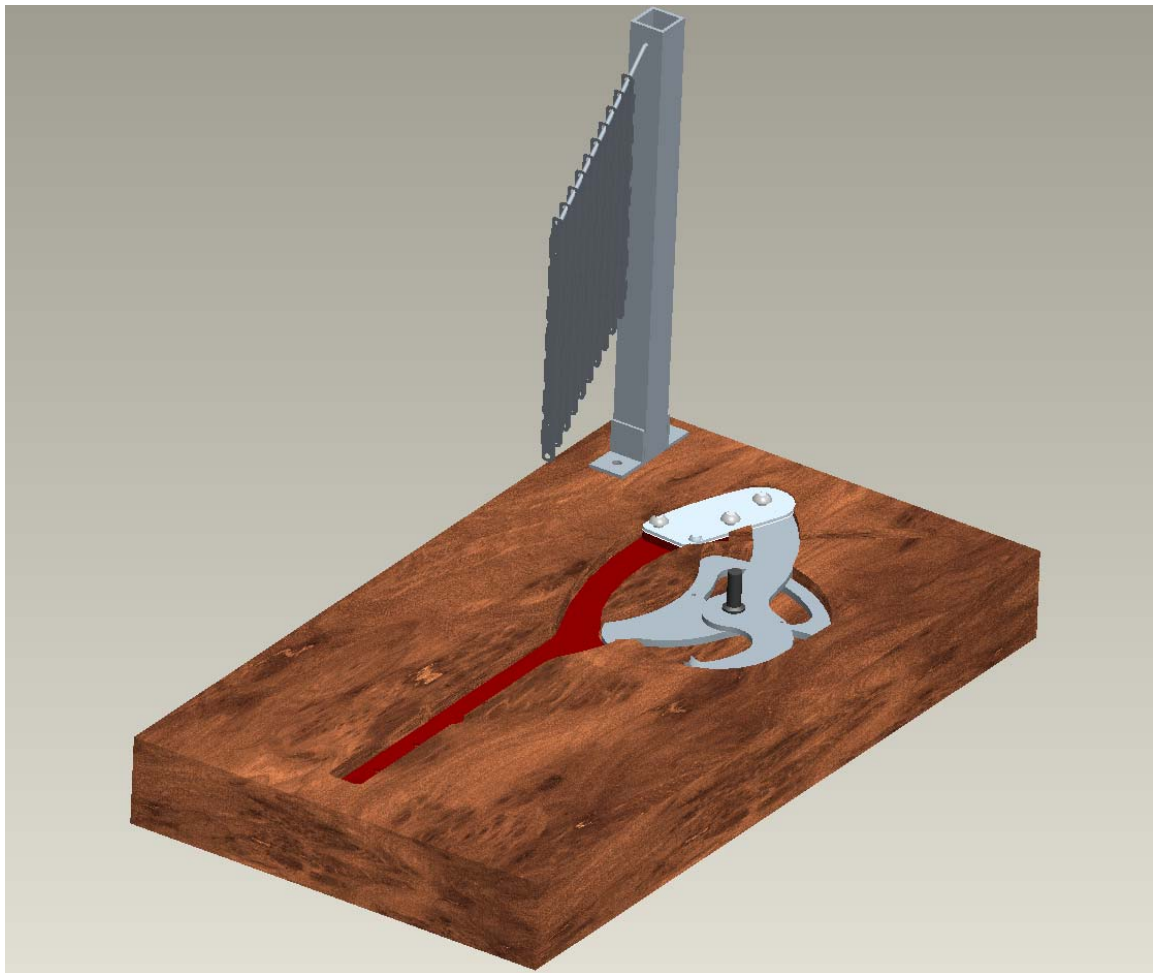
Loppukokoonpanossa vaadittavat ruuvit on sijoitettu aiemmin suunnitellulle ruuvimakasiinille. Loppukokoonpanossa tarvittavat M6-ruuvien lukkoaluslevyt on sijoitettu makasiinilevyille ruuvien alle. Ruuvaustyökalun varsi on magneettinen, joten lukkoaluslevy nousee kuvan 30 mukaisesti makasiinilevystä ruavin mukana kokoonpanoon.



Kuva 30. Ruavin ja lukkoaluslevyn tarttuminen magneettiseen ruuvauskärkeen

10.4.2 Kokoonpanoalusta

Rungon ja teräpaketin kokoonpanoalustan suunnittelu aloitettiin sijoittamalla AutoCAD -ohjelmalla rungon ja teräpaketin muodot kokoonpanon ja valmiin kokoonpanon siirron kannalta oikeaan asentoon. Tämän jälkeen muodot siirrettiin Pro/ENGINEER -ohjelmaan, ja muotojen mukaan mallinnettiin vanerilevyyn jyrstävät rungon, teräpaketin ja ketjun muodot (kuva31). Mallinnettaessa kokoonpanoalustaa tuli ottaa huomioon alipainetarttuja viemä tila, jota tarvittiin valmiin kokoonpanon siirrossa Väli- ja etulevyn asennusta varten joudutaan kokoonpanoalustaan asentamaan jousikuormitteiset ohjuritapit, jotka painuvat M6-ruuvien vaatiman tilan verran alaspäin.



Kuva 31. Rungon ja teräpaketin kokoonpanoalusta sekä ketjumakasiini

10.4.3 Työkalut

Alipainetarttuja rungolle, teräpaketille, etu- ja välilevyille sekä valmiille kokoonpanolle

Rungon ja teräpaketin kokoonpanossa käytetään aiemmin suunniteltua alipainetarttujaa. Käyttämällä kahta imukuppia voidaan myös etu- ja välilevy noutaa kokoonpanoon. Valmiin kokoonpanon siirrossa voidaan myös käyttää samaa alipainetarttujaa siten, että kaksi imukuppia kiinnittyy vastaterään ja loput kaksi imukuppia runkoon. Alipaine imukupeissa on riittävän suuri kannattelemaan rungon ja teräpaketin kokoonpanoa.

Tarttuja ketjulle

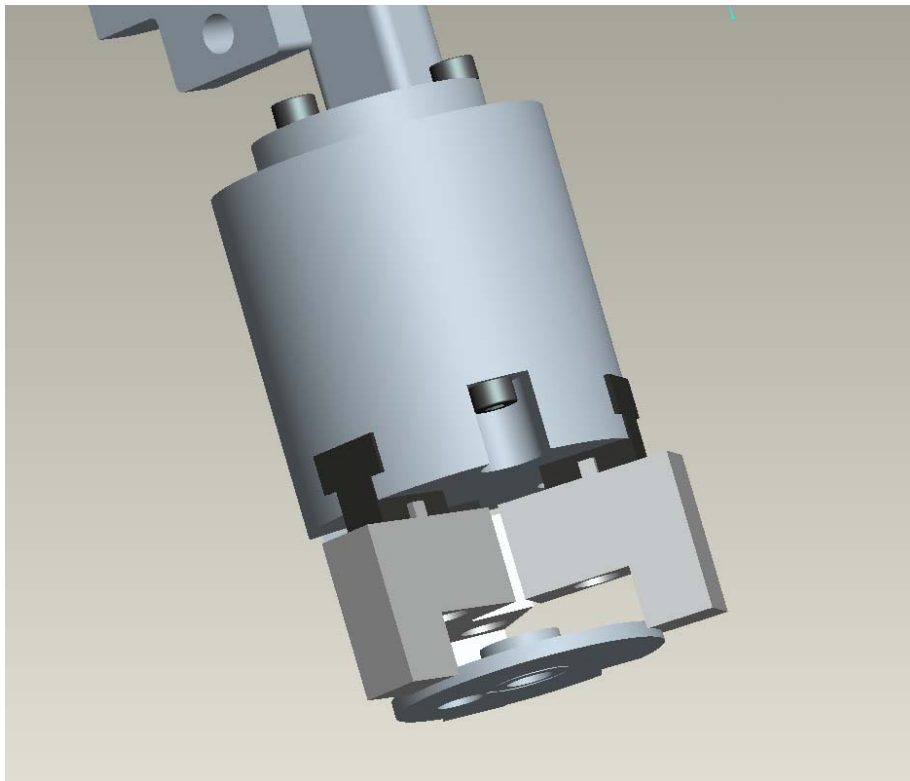
Ketjun tarttuja päätettiin tehdä SMC:n MHZ2-6D -kaksileukatarttujasta. Tarttujan leukojen välinen etäisyys leukojen ollessa kiinni on 8 mm ja ketjun leveys on 7,5 mm. Tästä johtuen tarttujan leukoihin asennettiin ulkohalkaisijaltaan 7 mm:n vahvuista alipaineletkua, jolloin tarttujalla on mahdollista ottaa ketjusta kiinni. Tarttujan laippa on samanlainen kuin alipainetarttujassa. Tarttujan laipan ja kaksileukatarttujan väliin on suunniteltu kuvan 32 mukainen adapteri, jolla kaksileukatarttuja saadaan asemoitua keskelle tarttujan laippaa.



Kuva 32. Tarttuja ketjulle

Tarttuja aluslevylle

Aluslevyn noudossa kokoonpanoon käytetään koululta valmiiksi löytyvää kolmileukatarttujaa, joka on SMC:n valmistama malli MHS3-25D. Kolmileukatarttujan leukojen liikematka on 3 mm ja aluslevyn halkaisija on 34 mm. Kolmileukatarttujan leukojen sisähalkaisija auki ollessa on 36 mm ja kiinni ollessa 33 mm, joten tämä tarttuja soveltuu sellaisenaan hyvin aluslevyn noutoon (kuva 33). Kolmileukatarttujan etuna on, että se keskittää kappaleen leukojen väliin automaattisesti.



Kuva 33. Aluslevyn tarttuja

Ruuvaustyökalu ruuveille

Ruuvaustyökaluna käytetään aiemmin suunniteltua ruuvaustyökalua. Koska tässä kokoonpanossa on kahta erikokoista ruuvia, joudutaan ruuvaustyökalun kärki ruuvausten välillä vaihtamaan. Ruuvauskärjen vaihto on tarkoitus suorittaa robotilla automaattisesti.

10.4.4 Rungon ja teräpaketin kokoonpanon välivarasto

Rungon ja teräpaketin kokoonpanon välivarastolta ei vaadita erityistä tarkkuutta, koska valmiit kokoonpanot siirtyvät välivarastosta manuaaliseen kokoonpanoon käsin. Aikaresurssija säästääksemme päätettiin välivarastona käyttää muovilaatikkoa, johon kaikki kymmenen valmista rungon ja teräpaketin kokoonpanoa mahtuisivat. Muovilaatikko on helpompi kuljettaa manuaaliseen kokoonpanoon kuin esimerkiksi matrisimainen välivarasto.

10.5 Manuaalinen kokoonpano

Manuaaliseen kokoonpanoon jää kaikki sellaiset työvaiheet, joita robotilla on joko mahdotonta tai vaikea suorittaa. Nämä työvaiheet ovat seuraavat: ketjun kiinnittäminen teräpakettiin, ruuvien loppukiristys, mutterin loppukiristys ja Wolf-muovin asentaminen runkoon. Myös valmiin pystykarsintalaitteen lopputarkastus tapahtuu tässä vaiheessa.

Ketjun kiinnittämisessä vastaterään robotilla on hankaluutena se, että ketju pitäisi saada asennettua vastaterässä sijaitsevaan hahloon ja samalla kiertää hahlossa olevaan kierrereikään M4-ruuvi. Hankaluutta lisää myös ketjun hallitsematon kääntyily.

Wolf-muovin asentaminen tapahtuu lyömällä se runkoon Wolf-raudan päälle. Ongelmana robotilla on, että lyömiseen tarvittavaa voimaa on mahdotonta saada aikaiseksi, koska robotilla ei voi aiheuttaa törmäystä ilman että ohjelma ei keskeytyisi.

Kaikki edellä mainitut ongelmat ja hankaluudet on eliminotavissa käyttämällä manuaalista kokoonpanoa. Samalla kun suoritetaan manuaalinen kokoonpano ja lopputarkastus voidaan myös teräpaketin jousiholkki ja M8-mutteri säätää oikealle kireydelle, joka takaa terien esteettömän liikkeen. Kuvassa 34 on valmis pystykarsintalaite.



Kuva 34. Valmis pystykarsintalaite [2.]

11 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

Työn tulokset

Insinööriyön tuloksena saatiin suunniteltua kaikki kokoonpanossa tarvittavat oheislaitteet, kuten makasiinit, kokoonpanoalustat, välivarastot sekä työkalut. Suunnitelluista oheislaitteista kerittiin valmistaa yksi välivarasto, yksi itsenäinen makasiini, kaksi työkalua, kaksi kokoonpanoalustaa joista toinen sisältää kaksi makasiinia.

Valmistettu välivarasto on suunniteltu käytettäväksi valmiin rungon välivarastointiin. Valmiiseen runkoon kuuluu varsi johon on kiinnitetty Wolf-sovite kahdella M5-ruuvilla. Välivarasto valmistettiin hitsaamalla kulmaraudoista välivaraston runko, joka kiinnitettiin vanerilevyyn ruuvaamalla.

Itsenäinen makasiini on tarkoitettu ruuveille ja jousille. Makasiiniin on kerätty kaikki kymmenen kappaleen kokoonpanossa tarvittavat ruuvit, lukkoaluslevyt sekä teräpaketin kokoonpanossa tarvittavat jouset ja jousiholkit. Makasiini on valmistettu MDF-levyyn NC-jyrsimellä.

Valmistetut työkalut ovat alipainetarttuja ja ruuvaustyökalu. Työkalut ovat itse sorvattuja ja jyrsittyjä manuaalityöstökoneilla Kajaanin ammattikorkeakoulun protopajassa. Materiaalina työkaluissa käytettiin alumiinia sen helpon työstettävyyden sekä keveyden johdosta. Työkalut olisi mielestämme kannattanut koneistaa NC-työstölaitteilla, koska näin olisi saatu täysin mitatarkat kappaleet.

Varren ja Wolf-sovitteen kokoonpanoalusta sisältää varren ja Wolf-sovitteen makasiinit. Koska varsi ja Wolf-sovite syötetään makasiineista suoraan kokoonpanoon, saadaan työkierrosta lyhyempi sekä säästetään makasiinien viemä tila. Työkierro lyhenee, koska kappaleita ei tarvitse erikseen tuoda kokoonpanoon ja näin ollen ei tarvitse suorittaa työkalun vaihtoa robotilla. Tämä kokoonpanoalusta sisältää myös neljä kappaletta paineilmasylintereitä, joilla kappaleet siirretään kokoonpanoon sekä pidetään kappaleet paikoillaan kokoonpanon aikana. Sylintereitä ohjataan sähkötoimisilla suuntaventtiileillä. Suuntaventtiileiden ohjaussignaali otetaan robotin ohjauskaapista. Ohjauskäskyt lisätään robotin ohjelmaan yksinkertaisilla input/output -käskyillä.

Toinen valmistetuista kokoonpanoalustoista on teräpaketin kokoonpanoon tarkoitettu alusta. Tähän kokoonpanoalustaan tuodaan tarvittavat osat robotilla erillisiltä makasiineilta. Myös tässä kokoonpanoalustassa on käytetty kahta paineilmasylinteriä, joita ohjataan robotilta saamalla ohjaussignaalilla.

Kokoonpanoalustoissa käytettyjen paineilmasylintereiden männänvarsien päihin on valmistettu joko muovista tai alumiinista liukupalat. Liukupaloilla välitetään paineilmasylinterin liike liikuteltaviin kappaleisiin. Muoviset liukupalat on valmistettu NC-jyrsimellä ja alumiiniset liukupalat on leikattu halutun muotoiseksi kulmaprofiilista.

Ongelmat kokoonpanossa

Molemmissa osakokoonpanoissa ja varren ja teräpaketin kokoonpanossa ilmenee yksi yhteinen ongelma liittyen ruuvien kiertämiseen. Ongelmaksi muodostuu ruuvien nouto makasiinista kokoonpanoon. Koska ruuvin kannassa oleva kuusiokolo ei aina ole samassa asennossa, ei ruuvaustyökalua voida laskea suoraan kuusiokoloon. Tätä ongelmaa voisi yrittää välttää kiertämällä ruuvaustyökalun kärkeä samalla, kun sitä lasketaan ruuvin kannassa olevaan kuusiokoloon. Vaarana on kuitenkin, että magneettinen ruuvauskärki tarttuu jo aikaisemmassa vaiheessa ruuvin kantaan. Väärä tartunta estäisi ruuvauskärjen pääsyä kuusiokoloon ja näin ollen ruuvien kiertäminen ei onnistuisi kokoonpanossa. Koska emme ole päässeet testaamaan ruuvien noutoa kokoonpanoon, emme voi olla varmoja tästä asiasta.

Toinen ongelma ilmenee teräpaketin kokoonpanossa ahtaana välyksenä asennettaessa robotilla jouta paikoilleen. Ahdas välyys vaatii, että kaikki osat ovat mittatarkkoja ja kokoonpanoalustassa oikeassa asennossa. Tämän tuotteen kohdalla ongelmana on myös, että osien valmistusmenetelmä saattaa muuttua sarjojen välillä. Tämä aiheuttaa erilaisia valmistusmenetelmästä johtuvia leikkausjäljen muutoksia. Leikkausjäljen muutos esimerkiksi jousen rei'issä voi aiheuttaa sen, että reiästä tulee hieman kartiomainen. Kartiomaiseen jousen reikään, jossa on jo valmiiksi ahdas välyys, on erittäin vaikea, ellei jopa mahdotonta asentaa robotilla jouta. Tähän mennessä osia on valmistettu vesi- ja laserleikkaamalla.

Ketjun asentaminen robotilla tuottaa myös varmasti ongelmia, vaikka se jäykistettäisiinkin teippaamalla. Samalla, kun ketjut joudutaan teippaamaan, lisääntyy käsityön osuus kokoonpanossa. Vaikka ketju jäykistetään, saattaa se silti käyttäytyä hallitsemattomasti nouettaessa kokoonpanoon.

Edellä mainittuja ongelmia voitaisiin vähentää käyttämällä robotissa konenäköä. Konenäön avulla robotti voisi tarkistaa työkappaleiden todelliset asennot. Konenäön lisääminen kokoonpanoon tuo lisää investointeja ja ohjelmointityötä, joten sen käytön hyödyllisyyttä kannattaa harkita tapauskohtaisesti.

Tulosten tarkastelu

Koska työ osoittautui laajemmaksi kuin aluksi kuviteltiin, varsinaista kokoonpanon ohjelmointia robotille ei ehditty toteuttamaan. Varsinainen ohjelmointi olisi mielestämme yhden insinööriyön laajuinen työ. Jos olisimme voineet käyttää oheislaitteiden valmistukseen alihankintaa, olisimme mahdollisesti saaneet valmistutettua kaikki tarvittavat oheislaitteet. Näin ollen olisi mahdollisesti jäänyt aikaa myös itse robotin ohjelmoinnin toteuttamiseen.

Työstä saadut tulokset eivät ole ainoita oikeita ratkaisuja, vaan ne ovat meidän omia ratkaisuja pystykarsintalaitteen automatisoituun kokoonpanoon. Ratkaisuihin vaikuttivat käytettävissä olevat rajalliset resurssit sekä henkilökohtaiset näkemykset.

12 YHTEENVETO

Opinnäytetyönä pystykarsintalaitteen automatisoitu kokoonpano oli erittäin haastava ja laaja työ. Automatisoidun kokoonpanon suorittamisesta oli saatavilla erittäin vähän teoria- ja käytännöntietoa johtuen sen käytön vähydestä näin laajassa mittakaavassa. Osakokoonpanoa on jonkin verran käytössä, mutta siinäkin on ihmisen tekemä työ osana toimintoja. Tämä seikka omalta osaltaan vaikeutti työmme tekemistä.

Työhön seikkaperäisemmin paneutumiseen olisi vaadittu joko lisää aikaa tai ainakin yksi insinööri- tai insinööri- ja insinööri-tekijä lisää, mieluummin molemmat. Mielestämme parhaaseen lopputulokseen olisi päästy, jos työtä olisi voinut jaotella enemmän. Työn olisi voinut jakaa esimerkiksi robotin ohjelmointiin, työkalujen suunnitteluun ja valmistukseen, makasiinien suunnitteluun ja valmistukseen sekä kokoonpanoalustojen suunnitteluun ja valmistukseen. Joka osa-alueesta olisi voinut olla erikseen oma insinööri.

Työn kautta saatiin tutustua automatisoidun kokoonpanon suunnitteluun, joka sisältää monia eri osa-alueita. Kokoonpanon suunnittelu ja toteutus sisälsi 3D-mallinnusta, NC-ohjelmointia sekä -jyrsintää, pneumaattikkaa ja robotin ohjelmointia. Osasta löytyi kiitettävästi teoria- ja käytännöntietoa, mutta välillä jouduttiin kokeilemaan asioita kantapään kautta. Työ oli mielenkiintoinen toteuttaa, koska työssä saatiin itse suunnitella ja valmistaa kokoonpanoon liittyviä oheislaitteita.

Kaikista vastuksista huolimatta olemme tyytyväisiä työhön. Työssä saatiin suunniteltua tarvittavat kolme kokoonpanoalustaa ja kaksi niistä ehdittiin valmistaa. Myös kaikki kokoonpanossa tarvittavat makasiinit suunniteltiin ja osa niistä ehdittiin valmistaa. Työkalujen osalta oltiin myös tyytyväisiä, koska saatiin valmistettua alipainetarttujan sekä ruuvaustyökalun ruuveille. Loput kokoonpanossa tarvittavat työkalut on suunniteltu ja mallinnettu, mutta niitä ei ehditty valmistamaan.

Tämäntyyppinen kokoonpano ei ole kaikkein mielekkäintä suorittaa robotilla. Automatisoidun kokoonpanon hyödyt jäävät pieniksi verrattuna sen järjestelyn vaatimaan työmäärään nähden, varsinkin kun käytössä ei ole syöttö- ja poimintalaitteita. Kokoonpanon esivalmisteluissa joudutaan suunnittelemaan tarvittavat työkalut, makasiinit, kokoonpanoalustat sekä välivarastot, jotka täytyy räätälöidä yksilöllisesti jokaiselle tuotteelle. Kokoonpanon jäykkyydestä

johtuen harvemmin pystytään käyttämään aiemmin suunniteltuja tai standardioheislaitteita usealle eri tuotteelle, koska kokoonpanot eivät ole identtisiä.

Tällä hetkellä yksittäisen pystykarsintalaitteen kokoonpanon suorittaa alusta loppuun yksi henkilö käsityönä kokoonpanoalustaa apuna käyttäen. Automatisointi vähentää kokoonpanijan työmäärää, muttei pysty poistamaan sitä kokonaan. Tästä johtuen tulisi automatisoituun kokoonpanoon olla riittävän suuri sarjakoko, jotta siitä saataisiin kaikki hyöty irti.

LÄHTEET

- 1 Kokoonpanoautomaatio Suomessa. Dokumentti luotu 27.10.2005. [WWW-dokumentti] <http://www.pe.tut.fi/akp/pdf/KpAutomaatioSuomessa.pdf>
- 2 Pystykarsintaopas, Oy Cimkey Ltd
- 3 Pikkarainen, E. Robottien rakenteet. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2005. Opintomateriaali.
- 4 Tietolomake ABB IRB 140. ABB Oy. Luettu 4.8.2006. [WWW-dokumentti] <http://search.abb.com/library/ABBLibrary.asp?DocumentID=PR10031EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- 5 Heilala, J. , Salmi, T. Robottitarraimet, kappaleen syöttö, asemointi ja työkalut. Suomen Robottiikkayhdistys. Luettu 18.4.2007. [WWW-dokumentti] http://www.ncp.fi/modernipuu/pdf/Robottitarraimet_syotto.pdf
- 6 Fonselius, J. , Hautanen, J. , Mutikainen, T. , Pekkola, K. , Salmijärvi, O. , Simpura, A. Pneumatiikka. 8. uudistettu painos. Helsinki: Oy Edita Ab, 1997. 110-113 s. ISBN 951-37-2225-2
- 7 Screwdriver System User's Manual. Luettu 13.4.2007. [WWW-dokumentti] http://www.kolverusa.com/Downloads/Microtec/Microdrive%20G4%20English%20V1_01.pdf
- 8 Small Swivels Brochure. Luettu 13.4.2007. [WWW-dokumentti] <http://www.robotssystemproducts.com/product-admin/pdf/51/52/Small%20Swivels.pdf>
- 9 Pikkarainen, E. NC-tekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus 1999. ISBN 952-13-0452-9
- 10 Tekes, Keskiraskas ja raskas kokoonpanotoiminta 1998-2000, Loppuraportti. 6-7 s.

