

Eetu Soukko

Tarttujanvaihtojärjestelmän luominen valmistussoluun

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

4.5.2016

Tekijä Otsikko	Eetu Soukko Tarttujanvaihtojärjestelmän luominen valmistussoluun
Sivumäärä Aika	25 sivua + 3 liitettä 4.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaaja	Tuntiopettaja Tero Karttiala
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle. Työssä käydään läpi tarttujanvaihtojärjestelmän luomisen vaiheet valmistussoluun, jonka kahta työstökoneetta palvelee ABB IRB 4600 -teollisuusrobotti. Lisäksi työssä tarkastellaan yleisellä tasolla joustavan tuotantojärjestelmän ja -yksikön toimintaa sekä tarttujan- tai työkalunvaihtojärjestelmän roolia itsenäisesti toimivassa valmistussolussa.</p> <p>Insinöörityön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa toimiva tarttujanvaihtojärjestelmä, jota pystytään myöhemmin käyttämään osana kappaleiden valmistuksessa käytettäviä ohjelmia. Osien suunnittelussa ja valmistuksessa käytettiin apuna CAD- ja CAM-ohjelmia. Järjestelmän ohjelmointi suoritettiin RAPID-ohjelmointikielellä.</p> <p>Lopputulokseksi saatiin työn tilaajan toivomusten mukainen järjestelmä. Tulevat käyttäjät pystyvät käyttämään valmiiksi luotuja tarttujan vaihdon mahdollistavia ohjelmarutiineja tulevissa ohjelmissa.</p>	
Avainsanat	Työkalunvaihto, tarttujanvaihto, teollisuusrobotti, valmistussolu

Author Title	Eetu Soukko Creating a Tool Change System for a Manufacturing Cell
Number of Pages Date	25 pages + 3 appendices 4 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Production Technology
Instructor	Tero Karttiala, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was made for Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The thesis studies the development phases of a tool change system for a manufacturing cell, which is served by an ABB IRB 4600 industrial robot. In addition, this Bachelor's thesis clarifies the basics about flexible manufacturing systems and units. It also explains the role of an automatic tool change system in a fully automated manufacturing cell.</p> <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to design and produce a working tool change system which can be later used as a part of manufacturing programs. Designing and manufacturing of the components were made using CAD and CAM software. The robot programming stage was made using RAPID programming.</p> <p>As a result of the project, a functional tool change system was produced which met the requirements set by the client. Therefore, future users are able to use the premade routines for tool changing in their programs.</p>	
Keywords	Tool change, gripper change, industrial robot, manufacturing cell

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tuotantojärjestelmät	2
2.1	Määrittely ja alaryhmät	2
2.2	Joustava automaattinen tuotantojärjestelmä	3
2.3	Joustava automaattinen valmistusyksikkö	4
2.4	Tarttujanvaihtojärjestelmä osana valmistussolua	5
3	Tarttujanvaihtojärjestelmän luominen	6
3.1	Vertailuanalyysi	6
3.2	Suunnittelu	6
3.2.1	Suunnittelussa huomioitavia asioita	6
3.2.2	Telinekiinnikkeen suunnittelu	7
3.2.3	Tarttujen välikappaleiden suunnittelu	9
3.3	Koneistus	12
3.3.1	Työstökoneet	12
3.3.2	Työstettävien kappaleiden kiinnitykset	12
3.3.3	NC-ohjelman luominen CAM-ohjelmalla	13
3.4	Kokoonpano	18
3.5	Rutiinien luominen	20
4	Yhteenveto	25
	Lähteet	26

Liitteet

Liite 1. Kiinnityshaarukan työkuva

Liite 2. Alligaattoritarttujan välilaitan työkuva

Liite 3. Kolmileukatarttujan välilaitan työkuva

Lyhenteet

CAD	<i>Computer-aided design.</i> Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAM	<i>Computer-aided manufacturing.</i> Tietokoneavusteinen valmistus.
FMS	<i>Flexible manufacturing system.</i> Joustava valmistusjärjestelmä.
FMU	<i>Flexible manufacturing unit.</i> Joustava valmistusyksikkö.
NC	<i>Numerical control.</i> Numeerinen ohjaus, käytetään työstökoneiden ohjaamiseen.
RAPID	ABB:n teollisuusrobottien ohjaamiseen käytettävä ohjelmointikieli.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön on tilannut Metropolia Ammattikorkeakoulu. Konelaboratorion tiloihin on hankittu vuoden 2015 kesällä ABB:n kuusiakselinen IRB 4600 -robottikäsi kolmella erilaisella tarttujalla. Robotin tarkoituksena on palvella samassa solussa toimivaa Quaser MV154P -koneistuskeskusta ja Mazak s10 -NC-sorvia. Robotti pystyy palvelemaan molempia työstökoneita seitsemän metriä pitkän servoradan ansiosta. Jotta solun voisi saada toimimaan täysin itsenäisesti, työstökoneita palvelevan robotin tulee pystyä tarvittaessa vaihtamaan tarttujaa kappaleiden siirtojen välissä. Robotilla on käytössä vakuumitarttuja sekä kaksi- ja kolmileukaiset leukatarttijat.

Insinööriyön tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa toimiva tarttujanvaihtojärjestelmä opetuskäytössä toimivaan valmistussoluun. Työssä perehdytään joustavien tuotantojärjestelmien ja joustavien valmistusyksiköiden toimintaan sekä tarttujanvaihtojärjestelmiin osana itsenäisesti toimivaa valmistussolua. Lisäksi työssä perehdytään myös mekaanisten osien valmistuksessa käytettävien NC-ohjelmien luomiseen Delcam PowerMill -ohjelmalla ja tarttujan vaihdon mahdollistavien RAPID-ohjelmointikielellä toteutettujen ohjelmien luomiseen.

2 Tuotantojärjestelmät

2.1 Määrittely ja alaryhmät

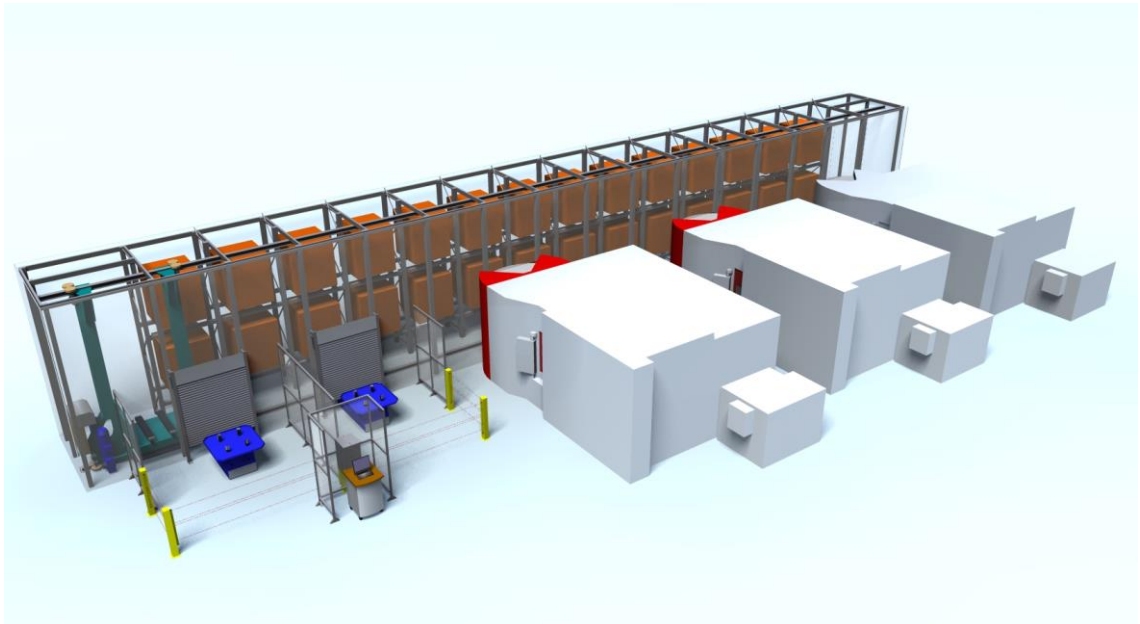
Tuotantojärjestelmä on yksinkertaisuudessaan erilaisten laitteiden kokonaisuus, jonka tarkoituksena on muokata annettu materiaali halutuksi tuotteeksi esimerkiksi koneistamalla tai kokoonpanolla. Tuotantojärjestelmään kuuluvia laitteita ovat työstökoneet, ohjausjärjestelmät sekä materiaalin siirtelyyn ja paikoitukseen tarvittavat laitteet. Laitteiden lisäksi järjestelmä vaatii myös ihmistyövoimaa. Tarvittavan ihmistyövoiman määrä määräytyy järjestelmäkohtaisesti, sen mukaan kuinka pitkälle järjestelmän automaatio on viety. (Groover 2008: 375.)

Mikäli pois luetaan täysin manuaalinen valmistus, jossa yksi työntekijä käsittelee yhtä työstökonetta, tuotantojärjestelmien konepaja-automaatio voidaan jakaa kahteen alaryhmään. Nämä kaksi alaryhmää ovat jäykkä automaatio ja joustava automaatio. Jäykkää automaatiota käytetään yleisesti sovelluksissa, joissa valmistetaan suuria eriä samantyyppistä tuotetta. Tuotteiden valmistamiseen on usein myös käytetty erilaisia erityiskoneita. Vastaavasti joustavaa tuotantoautomaatiota käytettäessä pystytään valmistamaan useammanlaisia tuotteita ja tuoteperheitä. Näissä sovelluksissa tuotteita yleensä valmistetaan pienemmissä toistuvissa erissä. (Tuotantoautomaatio 2015.)

2.2 Joustava automaattinen tuotantojärjestelmä

Joustava automaattinen tuotantojärjestelmä eli FMS (*Flexible manufacturing system*) (kuva 1) on korkeasti automatisoitu järjestelmä, jolla pystytään tuottamaan osia ja osaperheitä. Joustava tuotantojärjestelmä koostuu kahdesta tai useammasta konesolusta, jossa toimii automaattinen työstökone. Tässä tapauksessa automaattisella työstökoneella tarkoitetaan konetta, joka pystyy suorittamaan peräkkäin useita työkiertoja ilman ihmistä. Järjestelmässä käytettäviä työstökoneita voidaan käyttää valmistamaan samoja tuotteita tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi jalostamaan muista järjestelmän koneista valmistuvia tuotteita. (Groover 2008: 377–378; Tuotantoautomaatio 2015.)

Kappaleiden liikuttelu työstökoneiden välillä tapahtuu myös automaattisesti. Kappaleiden siirtelyyn on useita erilaisia menetelmiä, mutta yleisimmin käytössä on automaattivarasto, joka palvelee kaikkia konesoluja. Kappaleita on pystyttävä käsittelemään tarvittaessa myös konesolujen sisällä. Soluun tuleva kappale on kiinnitettävä työstökoneeseen ja valmistuttuaan otettava irti, minkä jälkeen se siirtyy toiselle koneelle tai pinotaan esimerkiksi lavalle. Konesolujen sisällä materiaalin käsittelyyn käytetään yleensä teollisuusrobotteja, jos kappaletta ei pystytä kiinnittämään työstökoneeseen suoraan esimerkiksi paletin avulla. (Tuotantoautomaatio 2015.)



Kuva 1. Esimerkkimalli Fastemsin joustavasta tuotantojärjestelmästä (Aerospace Manufacturing and design 2015).

2.3 Joustava automaattinen valmistusyksikkö

Joustava automaattinen valmistusyksikkö eli FMU (*Flexible manufacturing unit*) (kuva 2) on pienempi kokonaisuus kuin joustava automaattinen tuotantojärjestelmä FMS. Automaattinen tuotantoyksikkö koostuu yhdestä NC-työstökoneesta, työkappalevarastosta, automaattisista asetusten vaihdoista ja erilaisista valvontatoiminnoista, joilla voidaan valvoa esimerkiksi työkalujen kuntoa ja mitata kappaleita. Lisäksi valmistusyksiköstä on löydettävä kappaleenvaihtojärjestelmä, joka voi vaihdella työstökoneen tyypistä riippuen. Kappaleenvaihtojärjestelmät voivat toimia esimerkiksi portaalipanostajilla, paletinvaihtajilla tai teollisuusroboteilla. Joustava automaattinen valmistusyksikkö voi toimia itsenäisenä yksikkönä, mutta sillä on myös mahdollisuus toimia konesoluna osana joustavaa automaattista valmistusjärjestelmää. (Tuotantoautomaatio 2015.)



Kuva 2. Esimerkkimalli joustavasta automaattisesta valmistusyksiköstä (Tuotantoautomaatio 2015).

2.4 Tarttujanvaihtojärjestelmä osana valmistussolua

Tarttujan- tai työkalunvaihtojärjestelmä on telineestä ja kokoelmasta robottiohjelmiä koostuva järjestelmä, jonka tarkoituksena on vaihtaa oikea tarttuja tai työkalu oikeaan työvaiheeseen. Insinööriyössä puhutaan tarttujista, sillä valmistussoluun, johon järjestelmä luotiin, on käytössä vain materiaalinkäsittelyyn käytettäviä tarttuvia. Materiaalinkäsittelyn lisäksi robotteja voidaan käyttää suorittamaan muitakin työvaiheita, kuten esimerkiksi hitsaamista.

Tarttujanvaihtojärjestelmä on edellytys itsenäisesti toimivalle valmistussolulle tai -yksikölle, jossa robotin tarvitsee jossain vaiheessa työkiertoa vaihtaa työkalua tai tarttujaa. Mikäli robotti ei itse kykenisi vaihtamaan tarvitsemaansa työkalua, täytyisi ihmisen hoitaa työkalun vaihto manuaalisesti. Manuaalinen työkalunvaihto taas kumoaisi kokonaan idean teollisuusrobottien käyttämisen takana. Tällöin jokainen työvaihe sitoisi vähintään yhden työntekijän valmistussolua kohden yhden operaattorin sijaan, joka kykenee valvomaan useaa itsenäisesti toimivaa solua samanaikaisesti.

Kuten aikaisemmin mainittiin, tarttujan- tai työkalunvaihtojärjestelmä on edellytys vain soluille, joissa työn etenemisen edellytyksenä on tarttujan vaihtaminen työvaiheiden välissä. Syitä useamman kuin yhden tarttujan käytölle voi olla esimerkiksi kappaleen muuttuminen työstön aikana sellaiseksi, ettei aihion käsittelyssä käytetty tarttuja enää kelpaa tai robotti mahdollisesti suorittaa valmistelevia tai muita työvaiheita kappaleiden ollessa työstökoneessa. Insinööriyössä tarttujanvaihtojärjestelmä luotiin robotille, joka palvelee kahta samassa solussa toimivaa työstökoneetta. Solun työstökoneina toimivien koneistuskeskuksen ja NC-sorvin tuottamat kappaleet ja niiden kiinnitykset työstökoneisiin saattavat olla hyvinkin erilaisia. Tämä tarkoittaa, ettei yhden tarttujan käyttäminen välttämättä riitä halutun lopputuloksen saavuttamiseen ja itsenäisen toimimisen mahdollistamiseksi tarttujen vaihdon tulee olla automatisoitua.

3 Tarttujanvaihtojärjestelmän luominen

3.1 Vertailuanalyysi

Järjestelmään kuuluvan tarttujatelineen vertailuanalysointi aloitettiin läpikäymällä internetistä löytyvää aiheeseen liittyvää materiaalia, eli lähinnä videoita ja kuvia. Internetistä löytyneiden erilaisten mallien ja ideoiden läpikäymisen jälkeen haastateltiin robotin toimituksessa ja asennuksessa mukana ollutta ABB:n projektipäällikkö Pentti Tolosta. Haastattelussa käytiin läpi millaisia telineitä ja ylipäätänsä tarttujanvaihtojärjestelmiä ABB:n robottien kanssa on käytetty ja hieman asioita, joita on otettava huomioon järjestelmää suunniteltaessa.

Yritysvierailu AGCO Powerilla ja Mereo Groupilta saatu materiaali auttoivat hahmottamaan visuaalisesti, millaisia tarttujanvaihtojärjestelmiä itsenäisesti toimivissa robottisoluissa on käytetty. AGCO Powerilla toimivat useat kymmenet ABB:n robottikäsivarret erilaisine tarttujineen ja käyttötarkoituksineen antoivat hyvin referenssiä, millainen järjestelmä konelaboratorion robotille tulisi luoda.

3.2 Suunnittelu

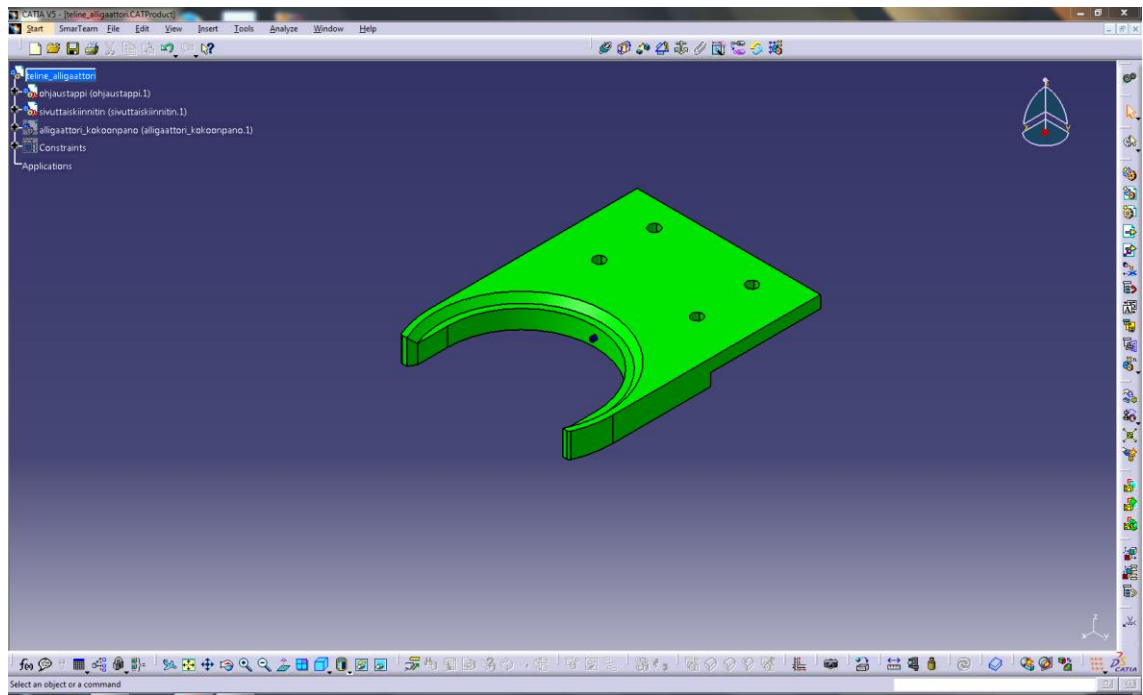
3.2.1 Suunnittelussa huomioitavia asioita

Tarttujatelinettä suunniteltaessa on otettava huomioon muutama asia. Tärkein asia toimivuuden kannalta on se, ettei tarttuja voi jäädä telineeseen jumiin tai törmätä matkalla. Lisäksi tarttujan tulee olla kiinnitettyä telineeseen siten, ettei tarttuja pääse liikkumaan telineessä mihinkään suuntaan ennen robotin tekemää työkalun vaihtoa. (Tolonen 2016.) Jos tarttuja pääsee liikkumaan telineessä, esimerkiksi riski törmäyksille kasvaa.

Telineeseen ja tarttujiin tulevia kiinnityksiä ja lukituksia suunnitellessa on tärkeä pitää mielessä edellä mainitut asiat. Suunnittelussa tulee miettiä, mistä suunnasta ja miten robotti lähestyy tarttujan kanssa, lähestytäänkö esimerkiksi ylhäältä, sivusta vai alhaalta? Pitäisikö tarttujen ja työkalujen olla poimittavissa vaakatasosta, vai pitäisikö ne kiinnittää vinottain tiettyyn kulmaan? Tällaiset kysymykset ovat ajankohtaisia etenkin, jos järjestelmässä on suuri määrä erilaisia tarttujia ja työkaluja. Telineeseen kiinnitettävien tarttujen ja työkalujen koko, massa ja muodot tulee ottaa myös huomioon.

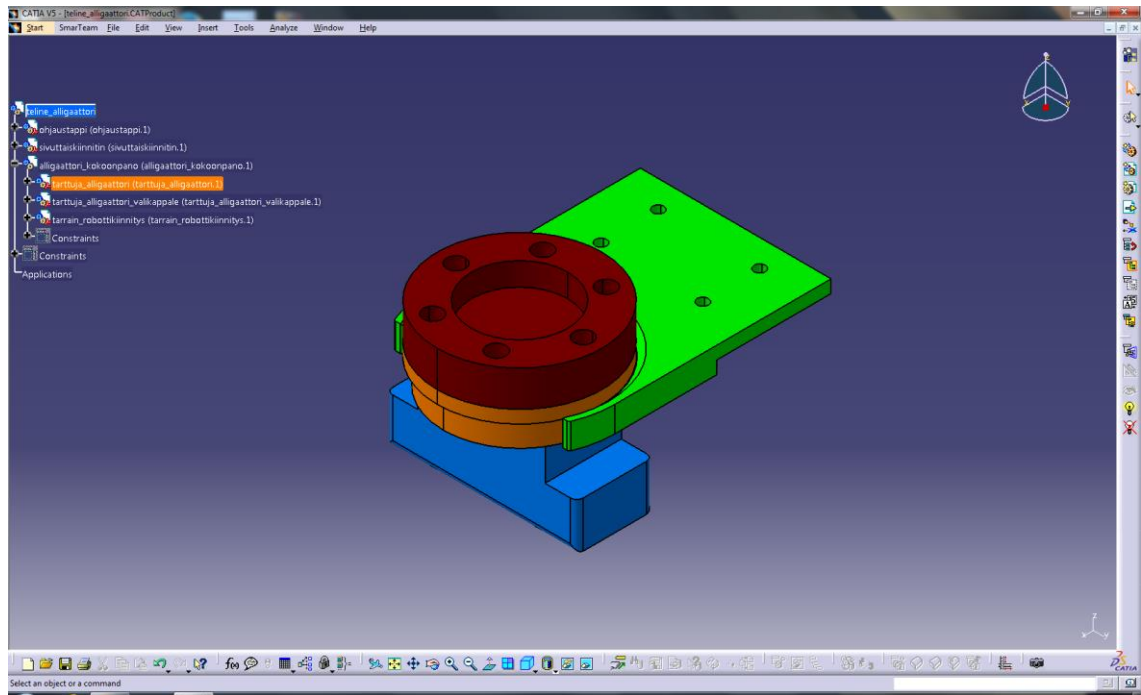
3.2.2 Telinekiinnikkeen suunnittelu

Erilaisten konseptien vertailujen jälkeen parhaimmaksi vaihtoehdoksi tarttujan kiinnittämiseksi telineeseen nousi alumiinista valmistettava haarukkamainen malli (kuva 3), jossa tarttuja ensin liu'utetaan vaakatasossa haarukan sisään ja lopuksi lasketaan lepäämään laipan varaan. Valintaan vaikuttavia tekijöitä olivat telineen viemän lattia pinta-alan vähäisyys sekä samanlaisten ja samankaltaisten komponenttien käyttö kaikille tarttujille.



Kuva 3. Telinekiinnikkeenä käytetyn leukatarttujen kiinnityshaarukan 3D-malli.

Kiinnityshaarukka kiinnitetään 80x80 alumiiniprofiiliin, joka toimii tarttujatelineen runkona. Haarukan ympyrämäinen sisämuoto toimii ikään kuin sovitteena tarttujen väliin suunnitellulle välikappaleelle (kuva 4). Välikappaleen ja haarukan sisäpinnan väliin jätetään kauttaaltaan 0,5 mm tilaa, jotta tarttuja ei jää haarukkaan puristuksiin. Välikappaleeseen perehdytään enemmän seuraavassa luvussa. Ympyrämuodon pohjalle on suunniteltu tappi, joka välikappaleessa olevan uran kanssa lukitsee kappaleen pyörimästä pois oikeasta asemasta. Haarukan piikkien sisäpuolelle tulevat 30° kulmassa olevat ohjauspinnat ohjaavat tarttujan haarukan sisään, vaikka haarukka sattuisikin esimerkiksi olemaan hieman vinossa. Kiinnityshaarukan tarkemmat mitat löytyvät kappaleen työkuvausta (liite 1).



Kuva 4. Kokoasanoakuva kaksileukaisesta tarttujasta kiinnitettynä haarukkaan.

3.2.3 Tarttujen välikappaleiden suunnittelu

Insinööriyön alussa robotin mukana tulleista kolmesta tarttujasta ainoastaan vakuimitarttuja (kuva 5) oli täysin käyttövalmis. Kolmileukaisesta tarttujasta (*trident*) (kuva 6) ja kaksileukaisesta tarttujasta (*alligator*) (kuva 7) puuttuivat kaksi tarttujan eri osaa yhdistävää välikappaletta. Välikappale yhdistää itse tarttujan ja robottikäsivarren ranteeseen kiinnityksen mahdollistavan työkaluvaihtajan vastakappaleen.



Kuva 5. Robottikäsivarressa kiinni oleva käyttövalmis vakuumitarra.



Kuva 6. Välikappaletta odottava kolmileukainen tarttuja.

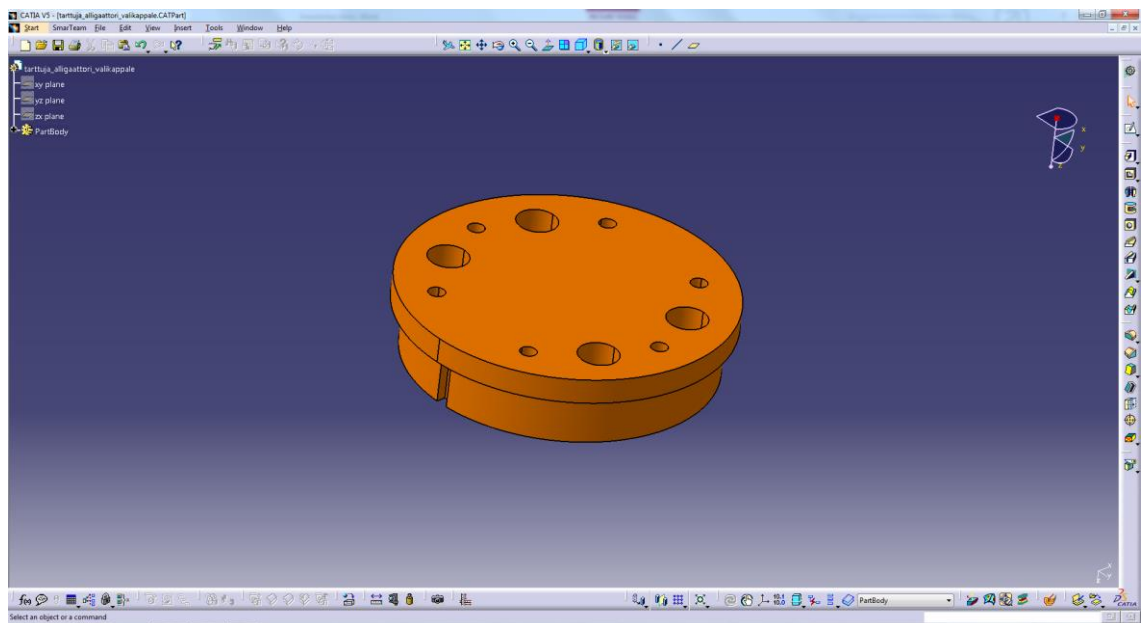


Kuva 7. Välikappaletta odottava kaksileukainen tarttuja.

Välikappaleiden puuttuminen kahdesta tarttujasta teki telineen suunnittelusta huomattavasti helpompaa. Helpommaksi suunnittelun teki se, että telineeseen tulevien tarttujen ei haluttujen liikkeiden poistamisen lukitukset oli helpompi suunnitella, kun lukituksen elementtejä on mahdollista lisätä telineen lisäksi myös itse tarttujaan.

Tarttujen liikkeiden lukitukset on jaettu itse telineeseen ja tarttujen välikappaleisiin. Välikappaleiksi suunniteltiin halkaisijaltaan 130 mm ja 30 mm paksut alumiinista valmistettavat laipat. Laippoihin tuleviin M8-läpikierteisiin kiinnitetään työkalunvaihajan vastakappale. Loput läpireiät tai -kierteet on tarkoitettu tarttujen kiinnityksille riippuen tarttujasta. Laippojen työpiirustuksista (liitteet 2 ja 3) löytyvät tarkemmat mitat sekä reikien ja kier-teiden jaot.

Esimerkiksi on otettu kuva alligaattorin eli kaksileukaisen tarttujan 3D-mallista (kuva 8). Kierteiden ja reikien oikealla paikoituksella on tärkeä merkitys niin tarttujan ja vastakappaleen kiinnityksen kannalta kuin myös erityisesti sen takia, että tarttuja pystytään ripustamaan telineeseen oikein ilman jumiin jäämisen riskiä. Kun tarttuja kiinnitetään laippaan oikeassa asennossa, eivät tarttujan ja vastakappaleen välillä kulkevat pneumaattikaletkut ota kiinni telineeseen. Laipan etupinnalla oleva 5 mm leveä ura toimii telineessä kiinni olevan tapin kanssa lukitusmekanismina, joka lukitsee tarttujan aksiaalisen pyörimisen. Laippaa kiertävä 5 mm paksu pykälä taas poistaa ei halutun vertikaalisen liikkeen telineessä.



Kuva 8. Kaksileukaisen tarttujan väliailpan 3D-malli.

3.3 Koneistus

3.3.1 Työstökoneet

Välilaippojen ulkoiset muodot sorvattiin 130 mm:n paksuisesta pyöreästä alumiinitangosta tehdyistä aihioista käyttäen Mazak s10 -NC-sorvia. Sorvauksen jälkeen välilaippoihin koneistettiin reiät, kierteet ja etupinnassa oleva 5 mm:n ura. Koneistus tehtiin Haasin 5-akselisella UMC-750 pystykaraisella koneistuskeskuksella.

Haasin koneistuskeskuksessa olevan kääntyvän pöydän avulla työstettäviä kappaleita voidaan työstää useasta eri suunnasta ilman työstettävän irrotusta pöydästä. Kun työstettävää kappaletta ei tarvitse ottaa välillä irti, säästyy koneistaja esimerkiksi uuden nolapisteen määrittämiseltä, mikä saattaa johtaa tarkempaan työhön jälkeen. Esimerkiksi välilaippojen koneistuksessa käytettiin juuri kyseistä kiinityspöydän kääntöä, jotta ura saataisiin sijoitettua kappaleen etupintaan niin tarkasti kuin mahdollista.

3.3.2 Työstettävien kappaleiden kiinnitykset

Ennen kuin kappaletta päästään kiinnittämään koneeseen ja aloittamaan työstöä on ensin mietittävä, miten kappale kiinnitetään työstökoneeseen. Esimerkiksi välilaippojen pyöreiden muotojen takia ahiota ei pystytty kiinnittämään tavallisiin suoriin leukoihin, koska uran jyrinnästä aiheutuvat työstövoimat olisivat voineet aiheuttaa kappaleen irtoamisen leuoista. Suorien leukojen tilalle valmistettiin uudet leuat, joiden säde 60 mm vastaa laippojen kapeamman osan sädettä.

Kiinityshaarukoiden kiinnitys koneistuskeskukseen ei ollut yhtä työläs haarukan suorien muotojen takia. Haarukoiden kiinnitykseen pystyttiin käyttämään valmiina löytyviä suoria leukoja.

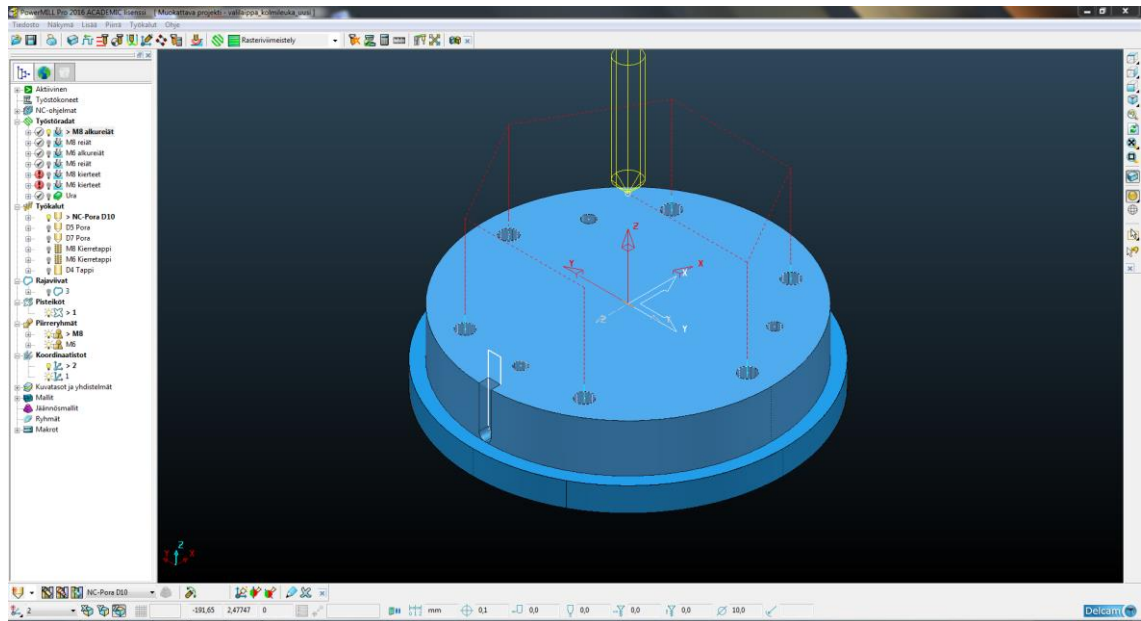
3.3.3 NC-ohjelman luominen CAM-ohjelmalla

Kappaleen kiinnityksen ollessa tiedossa on mahdollista lähteä luomaan NC-ohjelmaa. NC-ohjelmien luomiseen tässä projektissa käytettiin Delcam PowerMill -nimistä CAM -ohjelmaa. Aluksi ohjelmaan syötetään halutun kappaleen 3D-malli, tässä tapauksessa CATPart -tiedostomuodossa, josta ohjelma kääntää mallin oikeaan tiedostomuotoon.

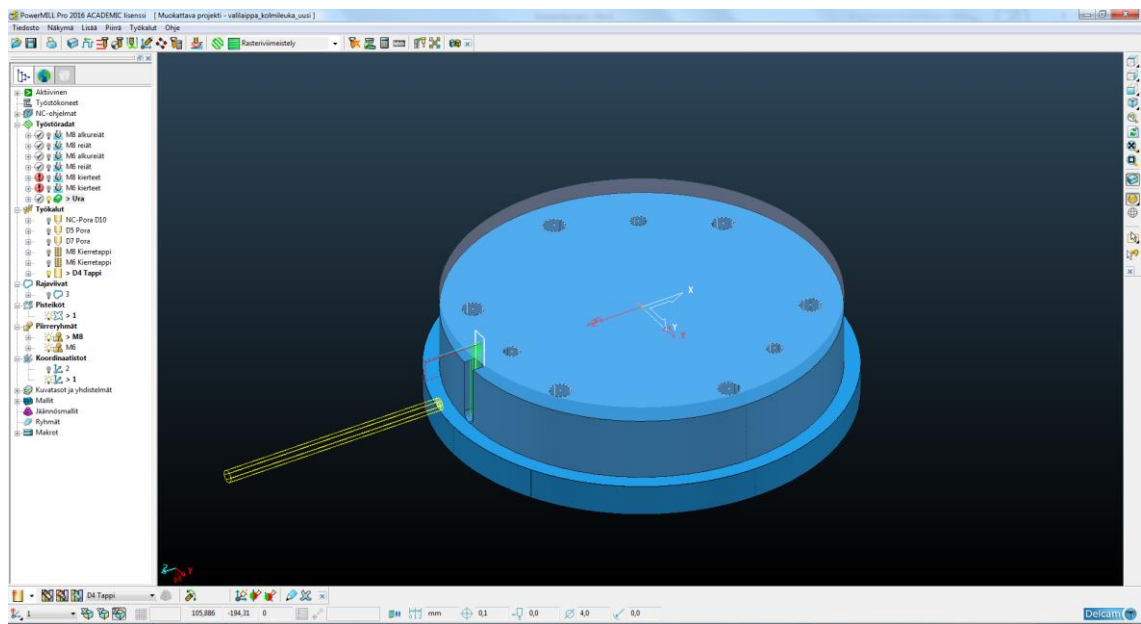
Mallin ollessa näkyvässä ohjelmassa pystytään sille määrittelemään aihio. Ohjelma laskee mallille aihion mallin päämittojen mukaan. Näitä mittoja on mahdollista käydä myös itse muokkaamassa halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Seuraavaksi ohjelmaan määritetään työstön koordinaatisto eli nollapiste. Koordinaatiston suuntaan ja sijoitukseen kannattaa kiinnittää huomiota, koska väärin asetettu koordinaatisto saattaa johtaa työkalun törmäykseen koneistusvaiheessa.

NC-ohjelmaa tehdessä on hyvä olla etukäteen selvillä, millaisilla työkaluilla kappaletta tullaan työstämään. CAM-ohjelmaan syötetään tiedot kaikista työstössä käytettävistä työkaluista. Tarvittavia tietoja ovat työkalun tyyppi, mitat, lastu-urien määrä, työkalun numero koneistuskeskuksessa ja sopivat työstöarvot työstettävälle materiaalille. Työkalujen määrittämisen jälkeen pystytään alkaa luomaan työstöratoja. Ohjelmassa on listattuna kymmeniä eri menetelmiä, joista tulee poimia omaan tarkoitukseen sopivin.

Välilampoissa on käytetty kolmea erilaista työstömenetelmää, porausta, kierteitystä ja jyr-sintää. Ensimmäiseksi jokaiselle reiälle tehdään esiporaus 10 mm paksulla NC-poralla (kuva 9). Esiporauksen jälkeen koneistetaan loput reiät ja kierteet. Kierteiden valmistuttua kone kääntää kappaletta 90° ja jyr-sii 5 mm leveän uran kappaleen etupintaan (kuva 10).



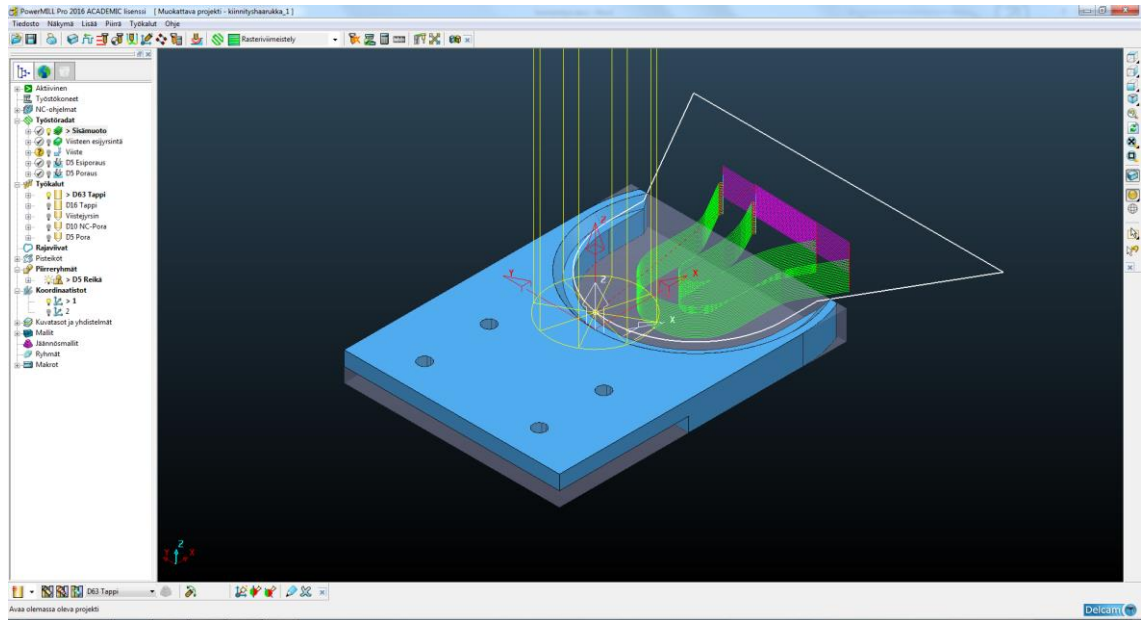
Kuva 9. Kolmileuan välilaitan CAM-malli ennen pöydän kääntöä.



Kuva 10. Kolmileuan välilaitan CAM-malli pöydän käännön jälkeen.

Kiinnityshaarukoiden koneistuksessa kappaleen koneistus oli suoritettava kolmessa vaiheessa ja vaiheiden välillä kappale täytyi irrottaa leuoista ja kääntää manuaalisesti. Ensimmäisessä vaiheessa aihion pitkät sivut plaanattiin, jotta sahan jättämä epätasainen pinta saatiin poistettua. Plaanatuista kappaleista jyrättiin ensin alumiiniprofilia vasten tuleva kiinnitystasku ja kiinnityspulteille reiät. Kolmannessa ja viimeisessä vaiheessa jyrättiin haarukan sisämuoto (kuva 11), esijyrättiin 45° ohjausviiste ja lopuksi koneistettiin

lopullinen 45° ohjausviiste. Vakuumitarttujalle tarkoitettu kiinnityshaarukka eroaa hieman leukatarttujille tarkoitettusta kiinnityshaarukasta, koska vakuumitarttuja oli valmiiksi kokoonpantu ennen projektin alkua. Perusajatus tosin molemmissa haarukoissa on sama.



Kuva 11. Leukatarttujen kiinnityshaarukan CAM-malli.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan kiinnityshaarukan koneistukseen oli tarkoitus sisällyttää samalainen pöydän kääntö kuin välilappoihin. Käännön avulla oli tarkoitus porata sisämuodon pohjaan tuleva 4 mm:n reikä, johon tuleva tappi toimii yhtenä tarttujan lukitusmekanismina. Reikä kuitenkin päädyttiin poraamaan manuaalisella pystyporalla PowerMillin postprossessorin eli kääntäjän vian vuoksi.

Valmis NC-ohjelma muodostuu erilaisista käskyistä, jotka ohjaavat työstökoneita tekemään halutut toimenpiteet. Yksinkertaistettuna NC-ohjelmassa kerrotaan työstökoneelle, millaisilla työstöarvoilla ja työkaluilla kappaletta työstetään sekä kerrotaan koneelle, mihin koordinaatteihin xyz-koordinaatistossa käytössä oleva terä liikkuu missäkin järjestyksessä. (Vesämäki 2007: 43.)

NC-ohjelmat muodostuvat osiohjelmissä, jotka koostuvat yhdellä työkalulla tehdyistä työkiertoista, esimerkiksi reikien poraus. Osiohjelman alussa määritellään millaista työkalua käytetään ja määritellään työstöarvot. (Vesämäki 2007: 46.)

Osaohjelmat koostuvat lauseista eli riveistä, mitkä ovat pienimpiä NC-koodin osia, joita työstökone voi yhdellä kertaa toteuttaa. Joissain tapauksissa lauseet numeroidaan liukuvasti N1, N2, N3 jne. Työstökoneet lukevat NC-koodia yksi lause kerrallaan ja suoritavat lauseessa olevat toiminnot (Vesämäki 2007: 46).

Kuten muussakin kirjoittamisessa lauseet koostuvat pienemmistä osista eli sanoista, sama ajatus toimii myös NC-ohjelmassa. Sana on kaikista pienin NC-koodin osa, jota työstökone ymmärtää. Sanat itsessään koostuvat osoitteesta ja osoitteen tiedosta, mutta erillään työstökone ei näitä tunnista (Vesämäki 2007: 46). Otetaan esimerkiksi käsky G0, eli pikaliike. Sana G0 koostuu osoitteesta G, jolla määritellään kuinka koneen on tarkoitus työskennellä. Kirjaimen G perässä oleva 0 (nolla) on sanan tieto eli se määrää, minkä tyyppinen käsky on kyseessä, tässä tapauksessa pikaliike.

NC-ohjelman ollessa valmis se voidaan siirtää työstökoneen muistiin. Kun työstettävä kappale tai aihio on kiinnitetty koneeseen siten, että terä ei voi törmätä työstön aikana kiinnityksiin, voidaan kappaleelle määritellä nollapiste käyttämällä koneistuskeskuksesta löytyvää mittaustyökalua. Nollapiste määritellään samaan kohtaan kuin se on määritelty CAM-ohjelmassa. Koneistuskeskukselle voidaan määritellä tarvittaessa yhteensä 9 eri nollapistettä, ja niiden vaihdot tapahtuvat koodeilla G54–G59, useaa nollapistettä voidaan tarvita kun koneessa on kiinni useita kappaleita (Vesämäki 2007: 116–117). Kuten kiinnityshaarukan esimerkkiotoksesta (kuva 12) huomaa, haarukoiden (kuva 13) koneistuksessa on käytetty yhtä nollapistettä G54.

```

1 %
2 O9001
3 ( PROGRAM DATE : 06 .04 .16 - TIME - 13 :02 :00 )
4 ( OPTION FILE : AAB14668 )
5 ( PROGRAMMED BY: eetuso )
6 ( OUTPUT WORKPLANE : 1 )
7 ( TOOL LIST )
8 ( Tool Index      #      Tool Diameter      Tool Tip Radius      Tool Length      Tool Name)
9 ( 1              2              63              0              315      D63 Tappi)
10 ( 2              17             16              0              315      D16 Tappi)
11 ( 3              3              13              0              315      Viistejyrsin)
12 G21
13 G00 G17 G40 G80 G94 G98 G54
14 G00 G28 G91 Z0
15 G255
16 ( ===== )
17 ( TOOLPATH : Sisämuoto )
18 ( WORKPLANE : 1 )
19 ( ===== )
20 ( TOOL NO. T2 )
21 ( TOOL TYPE : ENDMILL )
22 ( TOOL ID : D63 Tappi )
23 ( TOOL DIA.: 63 TIP RAD.: 0 LENGTH : 315 )
24 T2 M6
25 T17
26 S5053 M3
27 G54
28 G94 G0 G54 G90 X133.695 Y21.723 B0 C0
29 G43 Z5. H2
30 M8
31 G0 Z4.048 B0 C0.
32 G1 Z-.952 F252.65
33 X133.613 Y21.875 F2526.5
34 G3 X131.5 Y22.506 I-1.372 J-.741
35 G1
36 X121.524 Y17.121
37 G2 X88.986 Y9.304 I-31.005 J57.429
38 G1 X71.836 Y9.707
39 G3 X61.906 Y.013 I-.228 J-9.699
40 X71.826 Y-9.691 I9.702 J-.005
41 G1 X89.06 Y-9.304
42 G2 X121.523 Y-17.12 I1.467 J-65.226
43 G1 X131.5 Y-22.506
44 G0 Z9.048 B0 C0.
45 G1 X133.717 Y44.88 F3000.0
46 G0 Z4.048 B0 C0.
47 G1 Z-.952 F252.65
48 X133.63 Y45.03 F2526.5
49 G3 X131.5 Y45.6 I-1.35 J-.78
50 G1

```

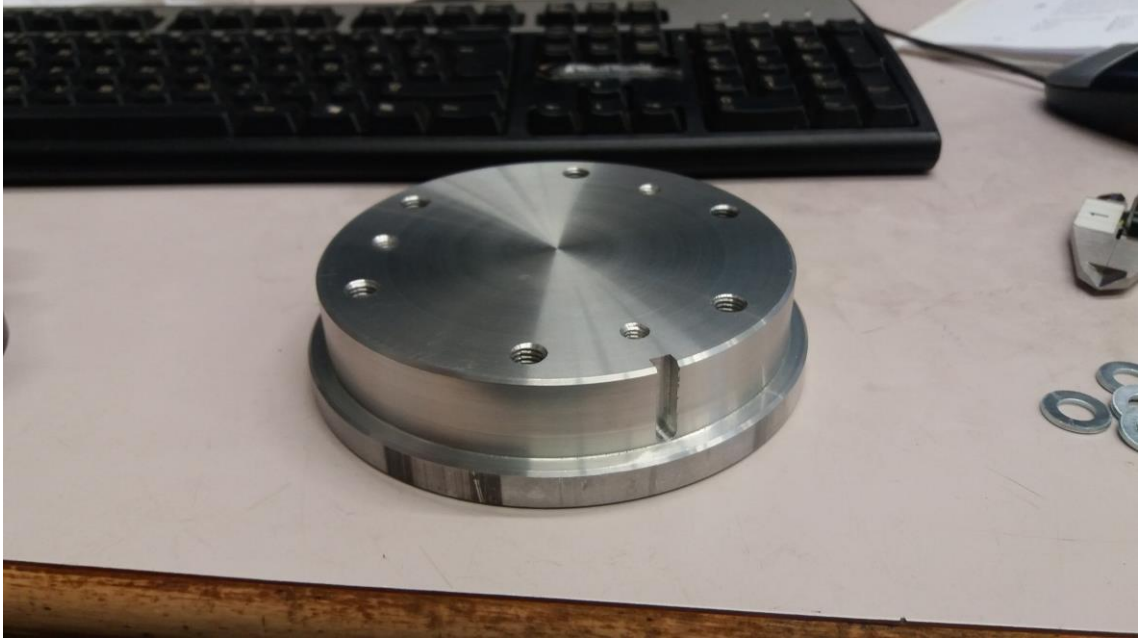
Kuva 12. Esimerkkiotos kiinnityshaarukoiden NC-ohjelmasta.



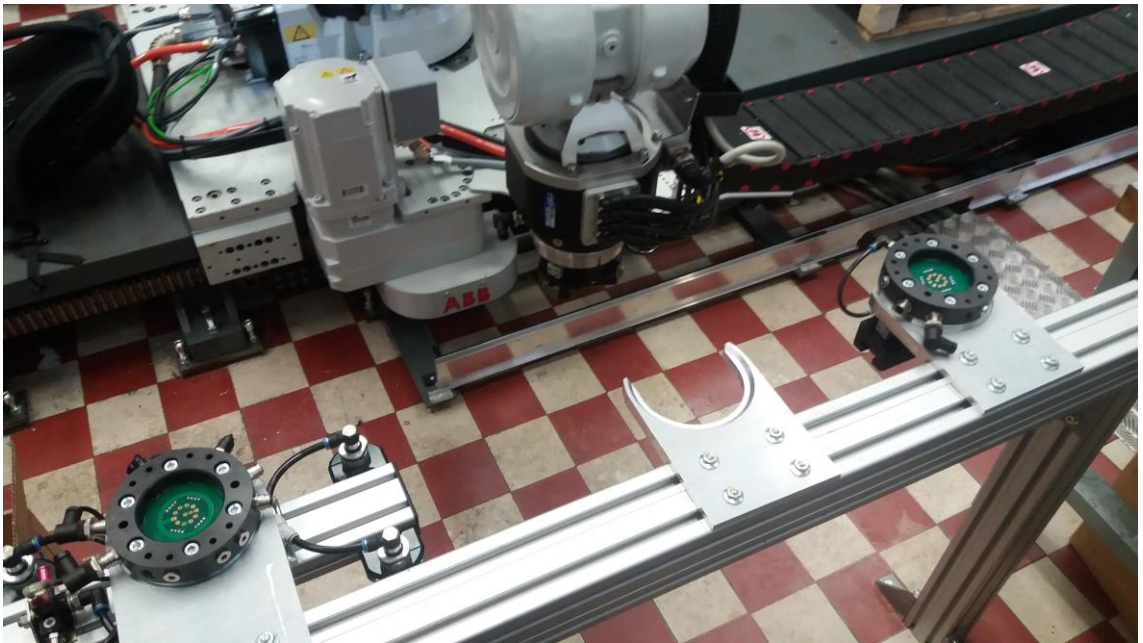
Kuva 13. Valmis kiinnityshaarukka.

3.4 Kokoonpano

Työkalunvaihtojärjestelmän toimintaan saamiseksi, oli kokoonpantava ensin tarttujat. Puuttuneiden välilaippojen (kuva 14) kiinnittämisten lisäksi tarttujiin jouduttiin tekemään muutamia pneumatiikkaletkuliitoksia ja tulppauksia, jotta tarttujat saatiin irtoamaan ja kiinnittymään oikein työkalunvaihtajaan. Kiinnityshaarukat kiinnitettiin ankkuripulteilla 80x80 kokoisesta alumiiniprofiilista valmistettuun telineeseen (kuva 15), joka on pultattu lattiaan kiinni tukevuuden maksimoimiseksi.



Kuva 14. Valmis kolmileuan välilaippa.

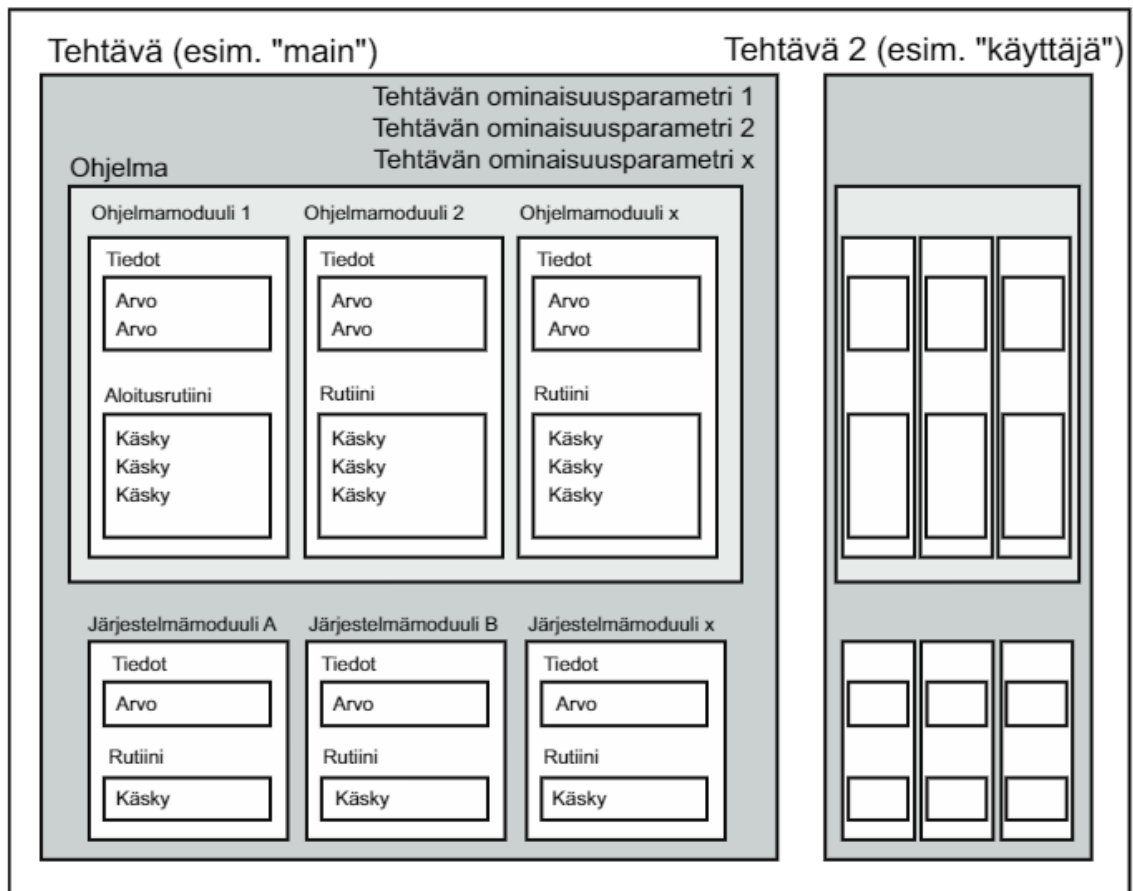


Kuva 15. Valmis tarttujateline.

3.5 Rutiinien luominen

ABB:n teollisuusrobottien ohjelmoimiseen käytetään ABB:n luomaa RAPID-ohjelmointikieltä. Itse RAPID-ohjelma on robotille ohjelmoidun tehtävän osa. Tehtävä voi olla esimerkiksi kappaleen siirto paikasta A paikkaan B tai vaikka kappaleen pistehitsausta. RAPID-ohjelma koostuu yleensä RAPID-koodia sisältävistä ohjelmamoduuleista ja rutiineista (kuva 16). Rutiineita voidaan jakaa eri ohjelmamoduulien alle riippuen rutiinin tehtävästä. Rutiini on ohjelman osa, joka määrittelee mitä robottijärjestelmä tekee. (Käyttäjän opas IRC5 ja FlexPendant 2013: 158–159) Esimerkiksi insinöörityössä käytetylle IRB 4600 -robotille löytyy rutiini vakuumitarraimen imun saamiseksi päälle (*Gripper-VacuumOn()*) Gripper Control -ohjausmoduulin alta.

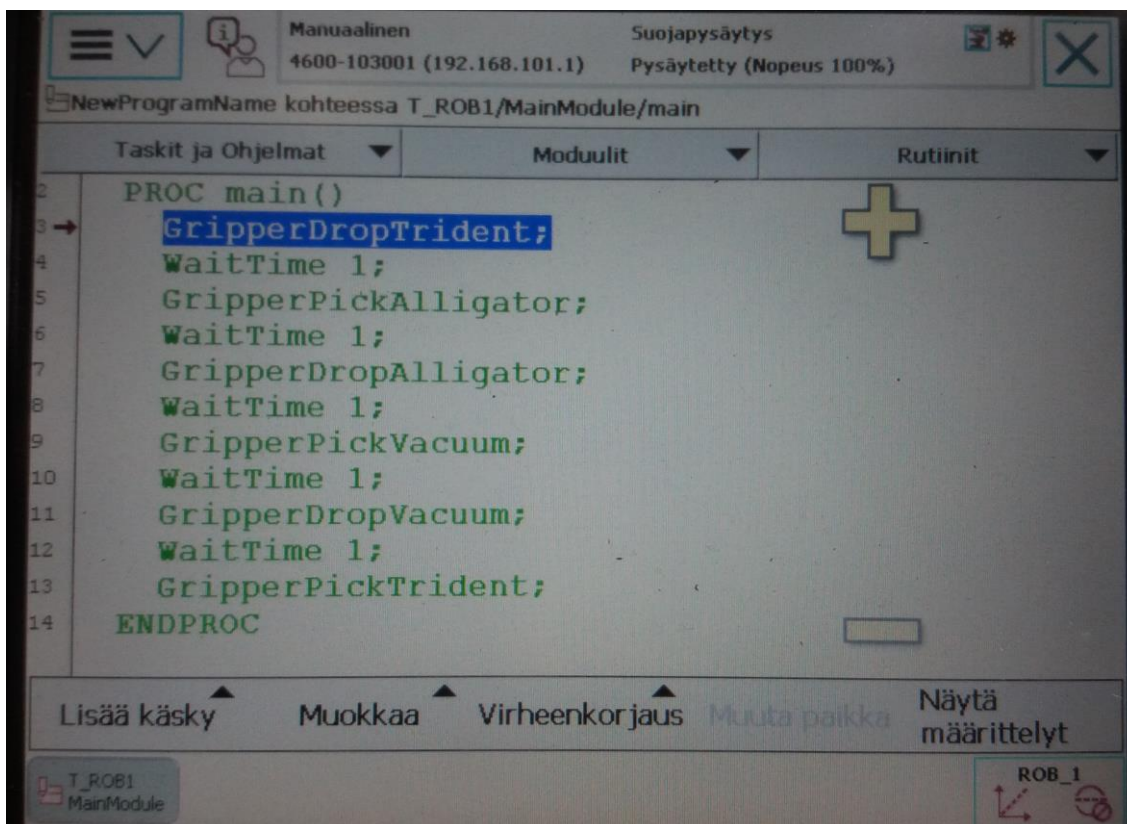
RAPID-sovellus



Kuva 16. RAPID-sovelluksen rakenne (Käyttäjän opas IRC5 ja FlexPendant 2013: 158).

Rutiini on hyvä kuvaus ohjelman osalle, koska niin RAPID-ohjelmoinnissa kuin arkielämisessäkin rutiinit ovat tasaisin väliajoin toistuvia asioita. Ohjelmoimisessa samat toistuvat asiat voisivat tulla todella työläiksi ilman rutiineja. Otetaan esimerkiksi aikaisemmin mainittu GripperVacuumOn -rutiini. Tämä rutiini sisältää useita rivejä koodia. Jos ohjelmoija joutuu käyttämään kyseistä toimintoa useasti, se tekee varsinaisesta ohjelmasta hyvin paljon epäselvemmän ja pidemmän. Vikatilanteissa epäselvää koodia on vaikeampi alkaa tulkitsemaan, etenkin jos koodia ei ole kommentoitu. Lisäksi pitkän koodin kirjoittamiseen menee huomattavasti enemmän aikaa kuin yksinkertaisen koodin laatimiseen. Kun halutuille tapahtumille on luotu etukäteen rutiinit voidaan niitä käyttää varsinaisessa ohjelmassa huomattavasti helpommin kutsumalla niitä, kuin kirjoittamalla ne joka kerta uudestaan. Rutiinin kutsuminen pääohjelmassa vie vain yhden rivin (kuva 17).

Kuvassa 17 on kuvattu main() -aloitusrutiini, jossa robotti käy aluksi irrottamassa kolmi-leukatarttujan omalle paikalleen, odottaa sekunnin ja käy noukkimassa alligaattoritarttujan. Ohjelma tekee kierroksen, jossa se käy läpi kaikki tarttujat kertaalleen. Kuten kuvasta pystyy näkemään, jokaiselle tarttujalle on määritelty GripperDrop- ja GripperPick -rutiinit eli tarttujan irrotus ja nosto.



```

2  PROC main()
3  → GripperDropTrident;
4  WaitTime 1;
5  GripperPickAlligator;
6  WaitTime 1;
7  GripperDropAlligator;
8  WaitTime 1;
9  GripperPickVacuum;
10 WaitTime 1;
11 GripperDropVacuum;
12 WaitTime 1;
13 GripperPickTrident;
14 ENDPROC

```

Kuva 17. Aloitusrutiini, jossa jokainen tarttuja käydään kerran irrottamassa ja noukkimassa.

Kuvassa 18 on esitetty rutiini, joka ohjaa robotin irrottamaan kolmileukatarttujan. MoveJ -käsky ohjaa robotin liikkumaan nivel-liikkeellä (*eng. joint movement*). Tällainen liike tarkoittaa sellaista liikettä, jossa robotti liikkuu haluttuun asemaan ilman, että työkalun keskipiste kulkee lineaarista reittiä. (Technical reference manual 2010: 253) MoveL -käsky eli lineaarinen liike sen sijaan kääsee robottia liikkumaan määrättyyn asemaan suoraa eli lineaarista reittiä pitkin. Liikekäsken valitsemisen jälkeen käskylle annetaan neljä tietoa eli argumenttia. (Technical reference manual 2010: 264.) Ensimmäinen argumentti on muuttuja, johon on tallennettu robotin haluttu asema. Esimerkiksi pTridentDropHome -muuttuja, joka on aloituspiste robotin aloittaessa kolmileuan irrottamisen. Seuraava argumentti kertoo, millä nopeudella liikekäsky suoritetaan. Tässä tapauksessa arvolla v100 eli 100 mm/s. Kolmas argumentti on liikkeen tarkkuus. Sitä voidaan käyttää tilanteissa, joissa halutaan esimerkiksi tehdä pistettä ohittaessa kaareva liike terävän liikkeen sijaan. Tarkkuudet annetaan esimerkiksi muodossa z50, jossa tarkkuus on 50 mm tai fine, jolloin työkalun kärki liikkuu tarkasti haluttuun asemaan. Viimeinen argumentti ilmoittaa käytössä olevan työkalun. (Technical reference manual 2010: 265.)

```

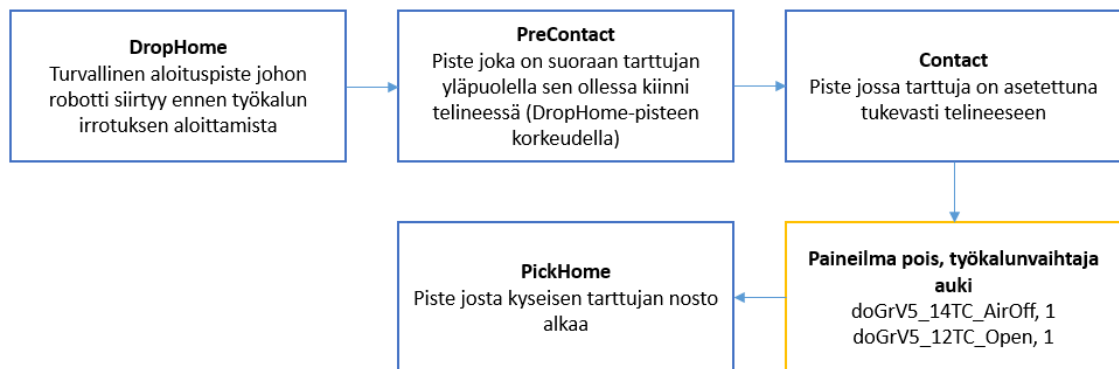
283 PROC GripperDropTrident()
284 MoveJ pTridentDropHome, v100, fine, tTrident;
285 MoveL pTridentPreContactNew, v100, fine, tTrident;
286 MoveL pTridentContactNew, v100, fine, tTrident;
287 WaitTime 1;
288 SetDO doGrV5_14TC_AirOff, 1;
289 SetDO doGrV5_12TC_Open, 1;
290 WaitTime 1;
291 MoveL pTridentPickHome, v100, fine, tTrident;
292 ENDPROC

```

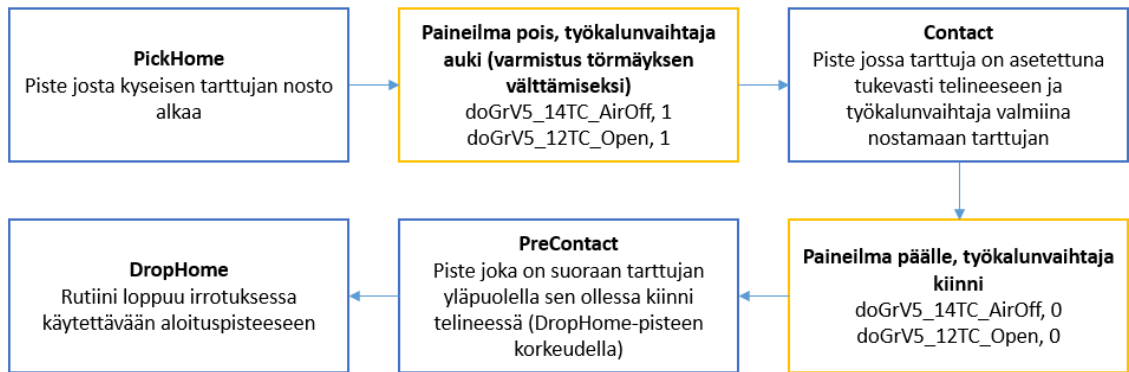
Kuva 18. Kolmileuan irrottamisen käytettävä rutiini (GripperDropTrident).

SetDO -komentoa käytetään vaihtamaan digitaalisen ulostulo-signaalin arvoa. Komentoa käytetään muodossa ”SetDO <ulostulon nimi>, <arvo>;”. Digitaalisten ulostulojen arvot annetaan boolean-muodossa, joissa kaikkien ohjelmointikielien tapaan yksi tarkoittaa totta ja nolla epätotta. Esimerkiksi käsky ”SetDO doGrV5_14TC_AirOff, 1” käskee robottia katkaisemaan paineilman syötön työkalunvaihtajaan, kun taas vastaavasti käsky ”SetDO doGrV5_14TC_AirOff, 0” avaa paineilman syötön. Sama asia pätee myös työkalunvaihtajan avaamista ohjaavaan käskyyn ”SetDO doGrV5_12TC_Open, 1”. Tarttujan tai työkalun irrottamiseksi ja kiinnittämiseksi tulee muuttaa molempien edellä mainittujen digitaalisten ulostulojen arvoja (kuva 21).

Insinöörityössä tehdyt tarttujanvaihtojärjestelmän rutiinit noudattivat samaa kaavaa riippumatta tarttujasta. Rutiinien toiminta on selvitetty kuvien 19 ja 20 kaavioiden avulla. Kaavioissa sinisellä kehyksellä merkityt vaiheet kuvaavat liikkeitä ja keltaiset digitaalisten ulostulojen muutoksia.



Kuva 19. Tarttujan irrottamiseen käytetyn rutiinin toimintaperiaate.



Kuva 20. Tarttujan noukkimiseen käytetyin rutiinin toimintaperiaate.

```

    Manuaalinen                               Suojapysäytys
    4600-103001 (192.168.101.1)                 Pysäytetty (Nopeus 100%)

    NewProgramName kohteessa T_ROB1/GripperControll/GripperPickTrident

    Taskit ja Ohjelmat  Moduulit  Rutiinit

    293  PROC GripperPickTrident ()
    294  MoveJ pTridentPickHome, v100, fine, tTrident;
    295  SetDO doGrV5_14TC_AirOff, 1;
    296  SetDO doGrV5_12TC_Open, 1;
    297  MoveL pTridentContactNew, v100, fine, tTrident;
    298  WaitTime 1;
    299  SetDO doGrV5_12TC_Open, 0;
    300  SetDO doGrV5_14TC_AirOff, 0;
    301  WaitTime 1;
    302  MoveL pTridentPreContactNew, v100, fine, tTrident;
    303  MoveL pTridentDropHome, v100, fine, tTrident;
    304  ENDPROC

    Lisää käsky  Muokkaa  Virheenkorjaus  Näytä määrittelyt
    T_ROB1 GripperC...  ROB_1
  
```

Kuva 21. Kolmileuan noukkimiseen käytettävä rutiini (GripperPickTrident).

4 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli luoda tarttujanvaihtojärjestelmä Metropolia Ammattikorkeakoulun hankkimalle ABB IRB 4600-teollisuusrobotille. Järjestelmän luomiseen kuului tarttujen välikappaleiden ja kiinnityshaarukoiden suunnittelu ja valmistus, tarttujen ja telineen kokoonpaneminen sekä tarttujen vaihdon mahdollistavien ohjelmarutiinien luominen RAPID-ohjelmointikielellä kolmelle tarttujalle.

Työssä onnistuttiin luomaan työn tilaajan toivomusten mukainen tarttujanvaihtojärjestelmä, jota tulevat käyttäjät pystyvät käyttämään luodessaan varsinaisia kappaleiden valmistukseen käytettäviä ohjelmia. Lisäksi työn alussa osina olleet tarttijat saatiin kokoonpantua sellaiseen kuntoon, että ne odottavat enää leukojen valmistusta.

Insinööriyötä tehdessä perehdyttiin tarkemmin teollisuusrobotteja hyödyntäviin soveluksiin ja teollisuusrobotin ohjelmointiin. Nämä asiat auttoivat syventämään tietämystä teollisuusrobottien toiminnasta, käyttökohteista ja RAPID-ohjelmoinnista. Lisäksi telineen valmistusvaiheessa päästiin käyttämään ja soveltamaan aikaisemmin opittuja asioita, kuten tietokoneavusteista suunnittelua ja valmistusta.

Lähteet

Groover Mikell P. 2008. Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing 3rd Edition. New Jersey: Pearson Education Inc.

Käyttäjän opas IRC5 ja FlexPendant. 2013. Verkkodokumentti. ABB Oy. <<http://docplayer.fi/510174-Abb-robotics-kayttajan-opas-irc5-ja-flexpendant.html>> Tarkastettu 15.4.2013. Luettu 17.4.2016.

Multilevel FMS System, MMS controls. 2015. Verkkodokumentti. Aerospace Manufacturing and Design. <<http://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/product/multilevel-fms-system--mms-controls-38234/>> Luettu 20.4.2016.

Technical reference manual. 2010. Verkkodokumentti. ABB Oy. <https://library.e.abb.com/public/688894b98123f87bc1257cc50044e809/Technical%20reference%20manual_RAPID_3HAC16581-1_revJ_en.pdf> Luettu 14.4.2016.

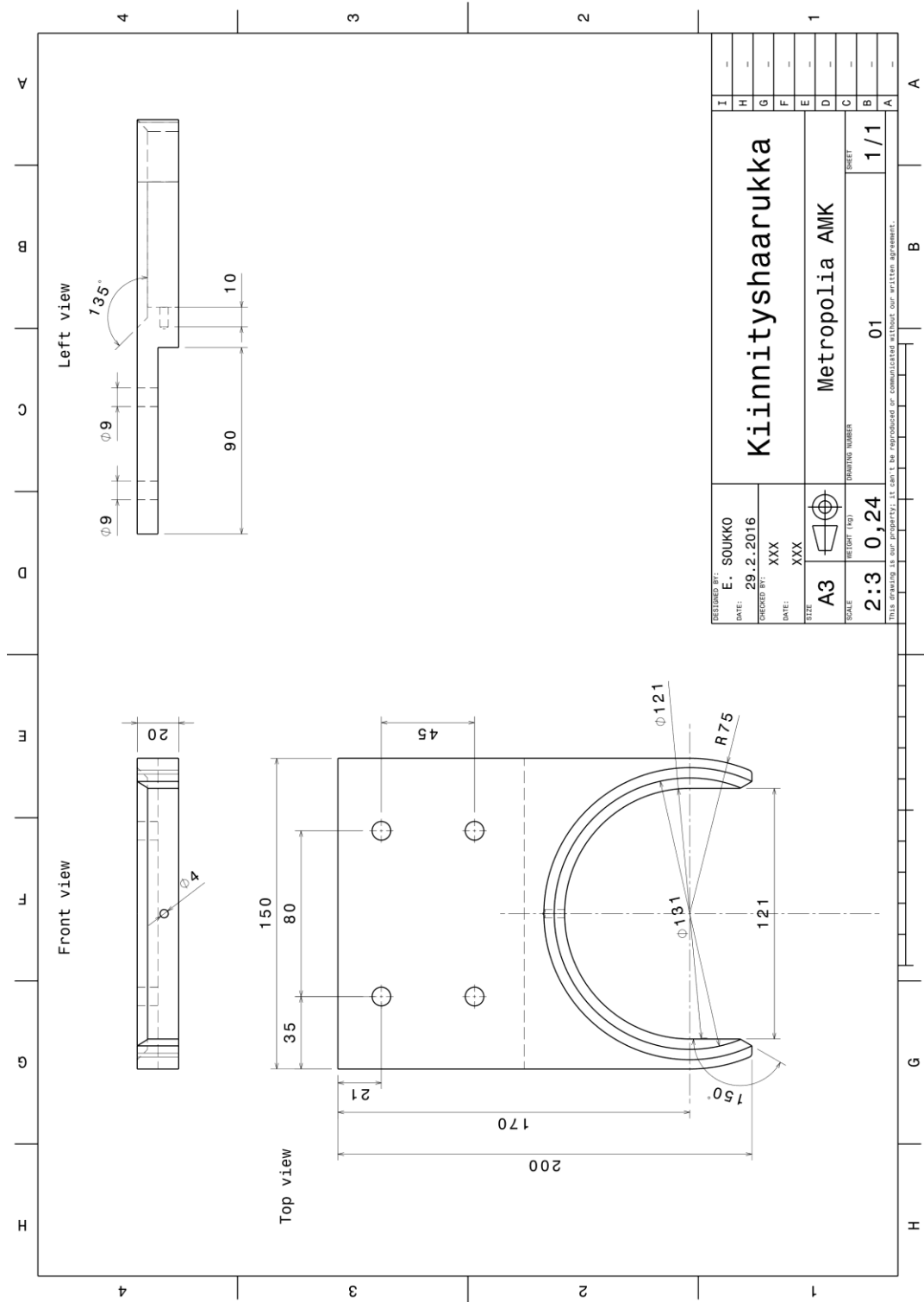
Tuotantoautomaatio. 2015. Verkkodokumentti. <<http://www.oamk.fi/~eeroko/Opetus/Tuotantoautomaatio/Kappaletavaratuotannon%2520ja%2520metalliteollisuuden%2520tuotantoj%84rjestelm%84t%5b1%5d.ppt>> Luettu 25.4.2016.

Tolonen, Pentti. 2016. Projektipäällikkö, ABB Oy, Vantaa, Puhelinhaastattelu 9.2.2016.

Vesämäki, Hannu (toim.). 2007 Lastuavan työstön NC-ohjelmointi. Helsinki: Teknologia-info Teknova Oy.

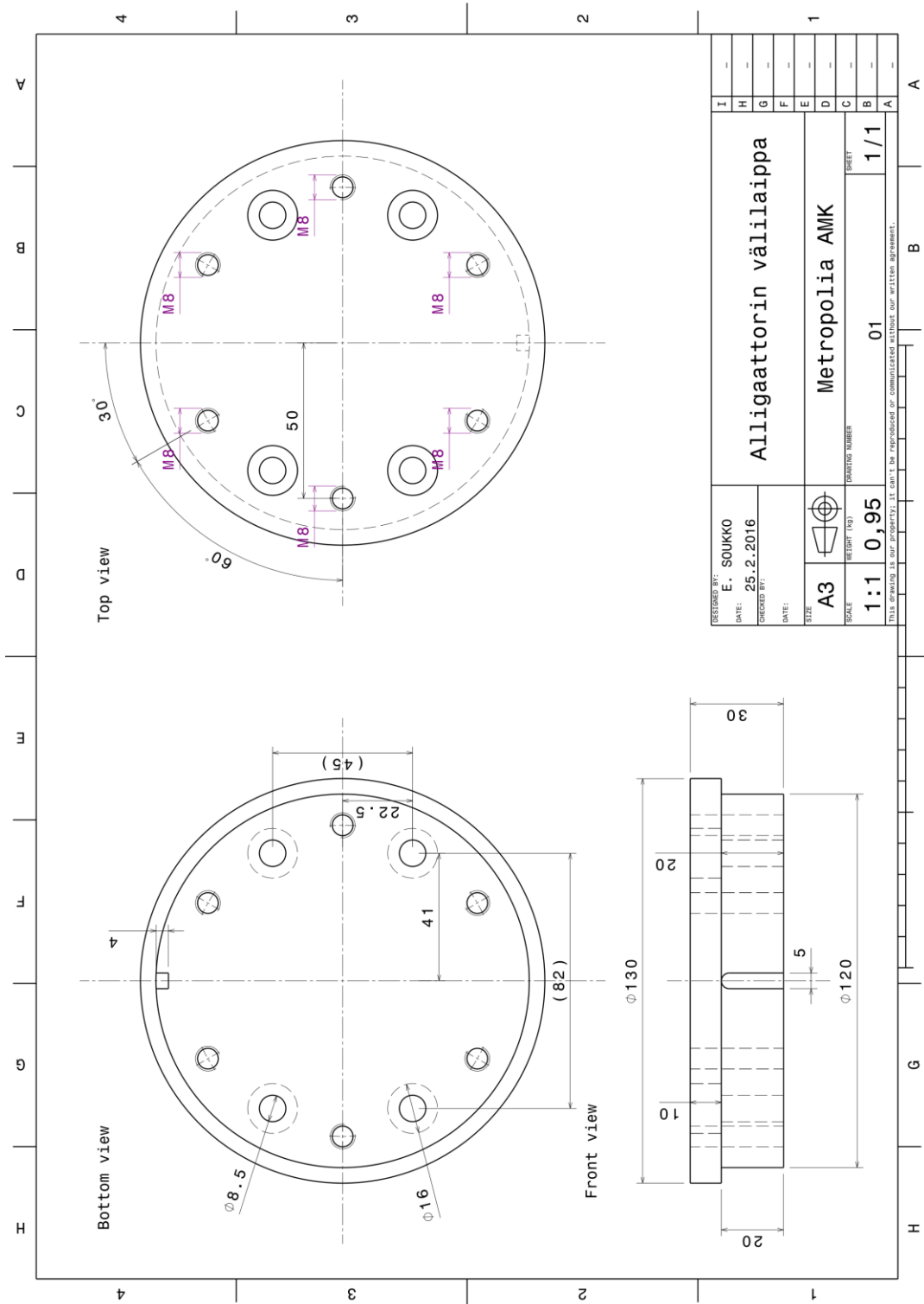
Kiinnityshaarukan työkuva

Liitteessä on työkuva tarttujien kiinnitykseen käytettävästä kiinnityshaarukasta.



Alligaattoritarttujan välilaipan työkuva

Liitteessä on työkuva alligaattoritarttujan kokoonpanossa tarvittavasta välilaipasta.



Kolmileukatarttujan välilaipan työkuva

Liitteessä on työkuva kolmileukatarttujan kokoonpanossa tarvittavasta välilaipasta.

