



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Petri Rajamäki

ETÄOHJELMOINTIYMPÄRISTÖ FMS- ROBOTTISOLUUN

Tekniikka ja liikenne
2013

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Petri Rajamäki
Opinnäytetyön nimi	Etäohjelmointiympäristö FMS-robottisoluun
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	33 + 2 liitettä
Ohjaaja	Mika Billing

Opinnäytetyö on tehty Wärtsilä Oyj:n Vaasan toimitusyksikön Bigcover-koneistusyksikköön. Työn aiheena oli luoda etäohjelmointiympäristö olemassa olevaan FMS-robottisoluun käyttäen Fastsimu tuotannonsimulointiohjelmaa. Työn tavoitteena on vähentää robotin tuotantokatkoksia etäohjelmoinnin avulla.

Työ aloitettiin tutustumalla Fastsimu tuotannonsimulointiohjelmaan sekä olemassa olevan robottisolun toimintaan. Lisäksi työn alussa tutustuttiin työn teoreettisiin taustoihin perehtymällä kirjallisuuteen etäohjelmoinnista ja FMS-tekniikasta. Etäohjelmointiympäristön lisäksi työssä toteutettiin ohje uuden tuotteen lisäämiseksi simulointimalliin.

Työn tuloksena robotin jäysteenpoisto-ohjelmat voidaan toteuttaa etäohjelmoimalla. Robotin ohjelmoinnista johtuvia tuotantokatkoksia saadaan vähennettyä ja tästä johtuen robotin tuottavuus ja käyttöaste nousee.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Petri Rajamäki
Title	Offline programming environment for FMS robot cell
Year	2013
Language	Finnish
Pages	33 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Mika Billing

The thesis was done for Bigcover of Wärtsilä Finland Oyj, Delivery Center Vaasa. The topic of thesis was to create an offline programming environment for FMS-robot cell by using the Fastsimu production simulation software. The purpose was to reduce the downtime of the production robot with offline programming.

The work was started by getting familiar with Fastsimu and the actions of the robot cell. Theoretical background was researched by examining literature about offline programming and Flexible Manufacturing Systems. In addition to offline programming environment, the manual for adding new products to the simulation model was done.

As a result of this thesis robot programs can be done offline. Robot downtime will be reduced and productivity and utilization will be increased.

Keywords offline, programming, FMS

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

1	JOHDANTO	8
	1.1 Työn aihe	8
	1.2 Työn tavoitteet	8
2	WÄRTSILÄ	9
	2.1 Ship Power	9
	2.2 Power Plants.....	9
	2.3 Services	9
	2.4 Wärtsilä Suomessa	9
3	FASTSIMU	10
	3.1 Ohjelmiston ominaisuudet	11
	3.2 Simulointiominaisuudet	12
4	FMS	13
	4.1 FMS-järjestelmät.....	13
	4.1.1 FMU	13
	4.1.2 FTL.....	16
	4.1.3 Varsinainen FMS	17
	4.2 FMS:n toimintaperiaate	18
	4.3 Robotti osana FMS-järjestelmää.....	20
5	ETÄOHJELMOINTI.....	21
	5.1 Mallipohjainen etäohjelmointi	21
	5.2 Etäohjelmoinnin hyödyt.....	23
6	ETÄOHJELMOINTIYMPÄRISTÖN MALLINTAMINEN.....	24
	6.1 Solun mallinnus	25
	6.2 Työkalujen mallinnus.....	26
	6.3 Kalibrointi ja verifiointi	29
7	OHJEEN KIRJOITTAMINEN	31
	7.1 Etäohjelmointiympäristön tarkistusmenettely	31
	7.2 Ohje uuden tuotteen lisäämiseksi.....	31

8 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	33
LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	Fastsimun käyttöliittymä	s. 10
Kuva 2.	Työstöradan paikoituspisteet luotu käyttämällä kappaleen muototietoa.	s. 22
Kuva 3.	Wärtsilän moottorin runkolaakerin satulan 3D-malli.	s. 24
Kuva 4.	Robottisolun simulointimalli ja robottisolun todellisuus.	s. 25
Kuva 5.	Robotin työkalun numero 1 simulointimalli ja todellinen työkalu.	s. 26
Kuva 6.	Robotin työkalun numero 2 simulointimalli ja todellinen työkalu.	s. 27
Kuva 7.	Robotin työkalun numero 4 simulointimalli ja todellinen työkalu.	s. 27
Kuva 8.	Robotin työkalun numero 8 simulointimalli ja todellinen työkalu.	s. 28
Kuva 9.	Robotin työkalun numero 10 simulointimalli ja todellinen työkalu.	s. 28
Kuva 10.	Kalibrointiipiikit paikoillaan.	s. 29
Kuva 11.	Kalibrointipisteiden opetusjärjestys.	s. 30
Kaavio 1.	Kiskovaunun toimintaperiaate	s. 15
Kaavio 2.	Palettirata työstökoneen edessä.	s. 16
Kaavio 3.	Joustavan transferlinjan työnkulkukaavio	s. 17
Kaavio 4.	FMS-järjestelmän työnkulkukaavio	s. 19

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Simulointimallin kalibroinnin tarkistusmenettely**LIITE 2.** Uuden tuotteen lisääminen

1 JOHDANTO

Seuraavissa kappaleissa esitellään opinnäytetyön aihe ja tavoitteet.

1.1 Työn aihe

Opinnäyteyö tehdään Wärtsilä Oyj Abp Vaasan toimitusyksikön Bigcover-koneistusyksikköön. Työn aiheena on luoda etäohjelmointiympäristö olemassa olevaan FMS-robottisoluun.

Tällä hetkellä robotin ohjelmat luodaan opettamalla robotilla työkalun paikoitus-pisteet. Robotin ohjelmointi opettamalla on aikaa vievää ja työlästä. Jäysteenpois-tossa opetettavia pisteitä on työstettävien kappaleiden monimutkaisuuden vuoksi todella paljon. Lisäksi uuden työkierron luonnin ajan robottisolu on poissa tuotan-nosta. Etäohjelmoinnin avulla robotti saadaan pidettyä koko ajan tuotannossa ja uusien työkiertojen luontia varten robotin tuotantoa ei tarvitse pysäyttää. Näistä tuotannon pysäytyksistä halutaan päästä eroon.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on luoda etäohjelmointiympäristö kaikkine työvaiheineen, ole-massa olevaan robottisoluun. Työvaiheisiin kuuluu itse robottisolun mallintami-nen, simulointimallin kalibrointi ja verifiointi sekä testaus. Lisäksi opinnäytetyös-sä on tavoitteena tehdä ohje uuden tuotteen lisäämiseksi simulointimalliin.

Työn valmistuttua robottisoluun pystytään luomaan jäysteenpoiston työkierrat etäohjelmoimalla, ilman käyttökatkoksia. Ohje uuden tuotteen lisäämiseen tulee olla niin selkeä, että uusi tuote voidaan ottaa etäohjelmointiin mukaan ilman suu-rempaa perehtymistä Fastsimu tuotannonsimulointiohjelmaan.

2 WÄRTSILÄ

Wärtsilä Oyj Abp on maailman johtava merenkulun ja energian tuotannon voimantuottoratkaisujen toimittaja, joka tarjoaa palvelua koko tuotteen elinkaaren ajalle. Panostamalla teknologisiin innovaatioihin ja kokonaistehokkuuteen Wärtsilä maksimoi taloudellisen suorituskyvyn sekä ympäristötehokkuuden asiakkailleen.

Vuonna 2012 Wärtsilän liikevaihto oli 4,7 miljardia euroa. Yhtiössä on noin 18 600 työntekijää. Yhtiöllä on 170 toimipistettä 70 maassa./1/

2.1 Ship Power

Ship Power Wärtsilä on johtava laivojen koneisto-, propulsio- ja ohjausjärjestelmien toimittaja. Wärtsilä toimittaa moottoreita, aggregaatteja, alennusvaihteita, propulsiolaitteistoja, ohjausjärjestelmiä ja tiivisteratkaisuja kaikenlaisiin aluksiin ja offshore-sovelluksiin./1/

2.2 Power Plants

Power Plants Wärtsilä on johtava voimalaitosten toimittaja hajautetun energiantuotannon markkinoilla. Wärtsilän voimalaitosratkaisut kattavat perusvoimantuotannon, sähköverkon vakaaseen toimintaan ja kuormitushuippujen tasaamiseen tarkoitettut voimalaitokset sekä teollisuuden omaan energiantuotantoon tarkoitettut voimalaitokset öljy- ja kaasuteollisuudessa./1/

2.3 Services

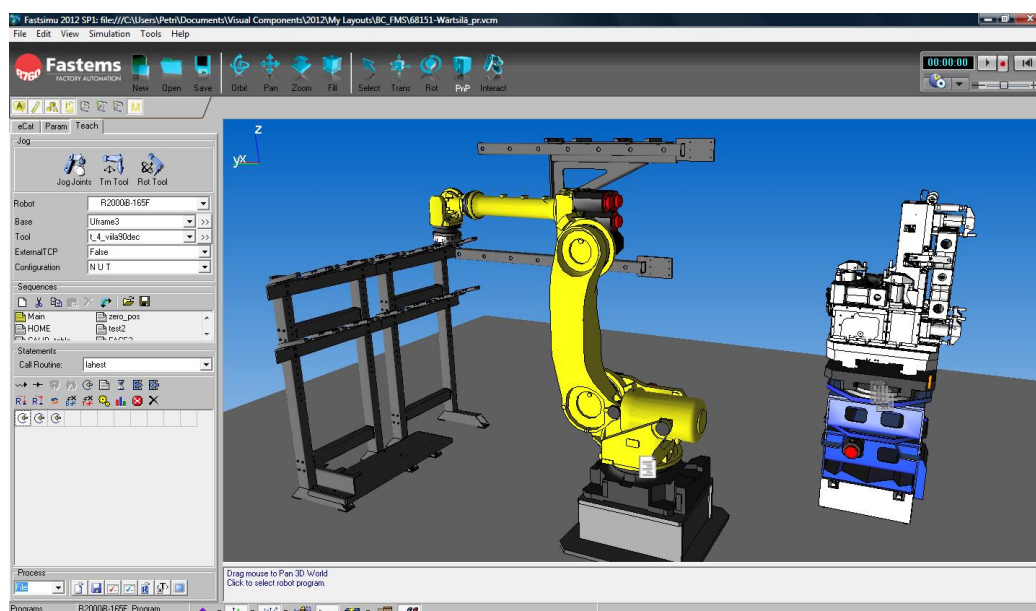
Wärtsilä tukee asiakasta koko toimitetun järjestelmän elinkaaren ajan, tarjoamalla huolto-, ylläpito- ja kunnostuspalveluita sekä voimalaitos- että laivajärjestelmiin./1/

2.4 Wärtsilä Suomessa

Wärtsilä työllistää Suomessa 3 600 työntekijää kolmella eri paikkakunnalla, Vaasassa, Turussa ja Helsingissä. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Helsingissä./2/

3 FASTSIMU

Fastems Fastsimu on tehokas offline-ohjelmointi- ja simulointiohjelma, joka on suunniteltu erityisesti robotisoituun jäysteenpoistoon ja viimeistelyyn. Ohjelma on suunniteltu helppokäyttöiseksi ja nopeasti ohjelmoitavaksi. Käyttöliittymä sisältää vain työhön tarvittavat työkalut. Kuvassa 1 on näkymä Fastsimun käyttöliittymästä. Fastsimu pohjautuu Visual Componentsin luomaan ohjelmistoalustaan. CNC-työstöratoja voidaan tuoda mistä tahansa CAD/CAM-ohjelmistosta ja edelleen hyödyntää niitä robotin ohjelmoinnissa. Fastsimusta löytyy erikoistyökalut viimeistelyprosesseissa tyypillisten laajojen työstöratojen käsittelyyn./3/



Kuva 1. Fastsimun käyttöliittymä

Fastsimu tukee erilaisten 3D CAD-tiedostotyyppien kiinnittimien ja työstökappaleiden mallien tuomista varten. Ohjelmisto sisältää työkalut jäysteenpoistoratojen luomiseen 3D CAD-mallien piirteiden avulla. Fastsimu tunnistaa mallien piirteet ja luo radat automaattisesti halutuille reunoille, pinnoille ja aukoille. Kalibrointi-työkaluilla minimoidaan simulointimallien ja todellisten robottisolujen välisiä poikkeamia. Simulointi sisältää robotin liikeohjelman ja työkalunvaihtojen lisäksi

ulottuvuus-, nivelraja-, nivelnopeus-, singulariteetti- ja törmäystarkastelun. Robotin työkiertoja voidaan optimoida tahtiaikojen tarkastelulla./3/

Fastsimu voidaan toimittaa uuden robottisolun mukana, jolloin simulointimalli löytyy valmiina. Tällöin ohjelman käyttöönotossa ei käyttäjän tarvitse muuta kuin lisätä simulointimalliin kiinnittimet ja työstettävät kappaleet. Offline-ohjelmointiympäristöä luotaessa vanhaan olemassa olevaan robottisolun, täytyy simulointimalli luoda alusta alkaen. Valmis komponenttikirjasto auttaa solun mallintamisessa. Kaikkia solun osia ei tarvitse välttämättä mallintaa itse, muun muassa robottisolun turvaseinät, kuljettimet ja työkalutelineet voidaan mallintaa valmiista komponenteista. Komponenttikirjastosta löytyy myös eri valmistajien työkalujen valmiita malleja. Komponenttikirjaston mallit eivät välttämättä ole aivan samannäköisiä kuin todellisessa robottisolussa, kuitenkin valmiita malleja käyttämällä simulointimallista saadaan toiminnaltaan todellisuutta vastaava, ainoastaan visuaalinen ilme on todellisuudesta poikkeava.

3.1 Ohjelmiston ominaisuudet

- Laaja tuki eri CAD-mallien lukuun. Perustiedostomuodot: VRML, STL, DXF, 3ds sekä valinnaisesti jokin seuraavista: Inventor, JT, Open, Parasolid, SolidWorks, CATIA, STEP, ProE, IDEAS NX, IGES.
- Robottivalmistajasta riippumaton ohjelma.
- Robottisolun mallinnuksessa voidaan hyödyntää avoimia komponenttikirjastoja.
- Lineaariratoja ja pyörityspöytiä on mahdollista käyttää robotin ulkoisina akseleina.
- Simulointimallin kalibrointiin löytyy kattavat työkalut.
- CAD/CAM-ohjelmalla luotujen työstöratojen pohjalta voidaan luoda robottiohjelmaa automaattisesti, tuodaan APT- tai NCI-muodossa.
- Paikoituspisteiden orientoinnin optimointi ja ulkoisten akselien määrittäminen automaattisesti.
- Robotin paikoituspisteiden luonti automaattisesti 3D CAD-mallien piirteiden avulla.

- Monipuoliset toiminnot paikoituspisteiden ja reittien muokkaamiseen, paikan ja asennon muokkaus, pistejoukkojen kopiointi, siirto ja peilaus.
- Prosessiparametrit ja I/O-määritykset, tuki käyttökohtaisille ohjeille.
- Kääntäjät robottiohjelmien siirtoon Fastsimun ja robotin ohjaimen välillä.
- Lisäominaisuuksien ohjelmointi Python-ohjelmointikielellä.

3.2 Simulointi ominaisuudet

- törmäysten ja läheltä piti -tilanteiden tarkastelu.
- nivelrajojen, -nopeuksien, -kiihdytysten ja singulariteetin tarkastelu.
- tahtiaikojen tarkastelut.
- työkalunvaihtojen simulointi./3/

4 FMS

FMS, Flexible Manufacturing System, eli joustava valmistusjärjestelmä on pitkälle automatisoitu tuotantojärjestelmä, joka on suunniteltu valitun kappaleryhmän valmistusta varten. Järjestelmä perustuu yhteen tai useampaan NC-koneeseen ja automaattivarastoon, jonka ympärille eri toiminnot on rakennettu. FMS-järjestelmä mahdollistaa rinnakkaisen tuotannon ilman manuaalista asetusten tekoa.

FMS-järjestelmä mahdollistaa työstökoneilla tapahtuvan tuotannon automatisoinnin, mikä lisää miehittämätöntä ajoa tuotannossa, työstökoneiden käyttöastetta ja tuotantokapasiteettia. Joustavalla tuotantojärjestelmällä voidaan valmistaa monenlaisia tuotteita samanaikaisesti ja eräpäivät voidaan muuttaa tuotantoa pysäyttämättä. Tämä mahdollistaa lyhyet toimitusajat ja pienet eräkoot menettämättä massatuotannon etuja. Tehokas logistiikka yhdistettynä kehittyneiden tuotannosuunnitteluominaisuuksien kanssa mahdollistavat tuotannon vähäisemmällä tuotantohenkilökunnalla ja esisuunnittelulla parantaen kuitenkin tuotannon ja tuotteiden laatua, koska tuotantoon vaikuttavia inhimillisiä tekijöitä on vähemmän./4/

4.1 FMS-järjestelmät

FMS-järjestelmiksi laskettavia systeemejä on kolmenlaisia.

- *FMU*, Flexible Manufacturing Unit, eli automatisoitu yhden työstökoneen järjestelmä. *FMU*-järjestelmät voidaan jakaa vielä kahteen osaan. Nämä ovat, *FTU*, Flexible Turning Unit, joustavasti automatisoitu sorvausyksikkö sekä *MCU*, Machining Center Unit, täysautomaattinen koneistuskeskus.
- *FTL*, Flexible Transfer Line, joustavasti automatisoitu transferlinja.
- Varsinainen monikoneinen *FMS*./6, 154/

4.1.1 FMU

FMU, Flexible Manufacturing Unit, eli täysautomatoitu yhden työstökoneen järjestelmä koostuu yhdestä työstökoneesta tai koneistuskeskuksesta, joissa on automaattinen kappaleenvaihtaja, kappaleen syöttö- ja poistokuljettimet, kappaleen

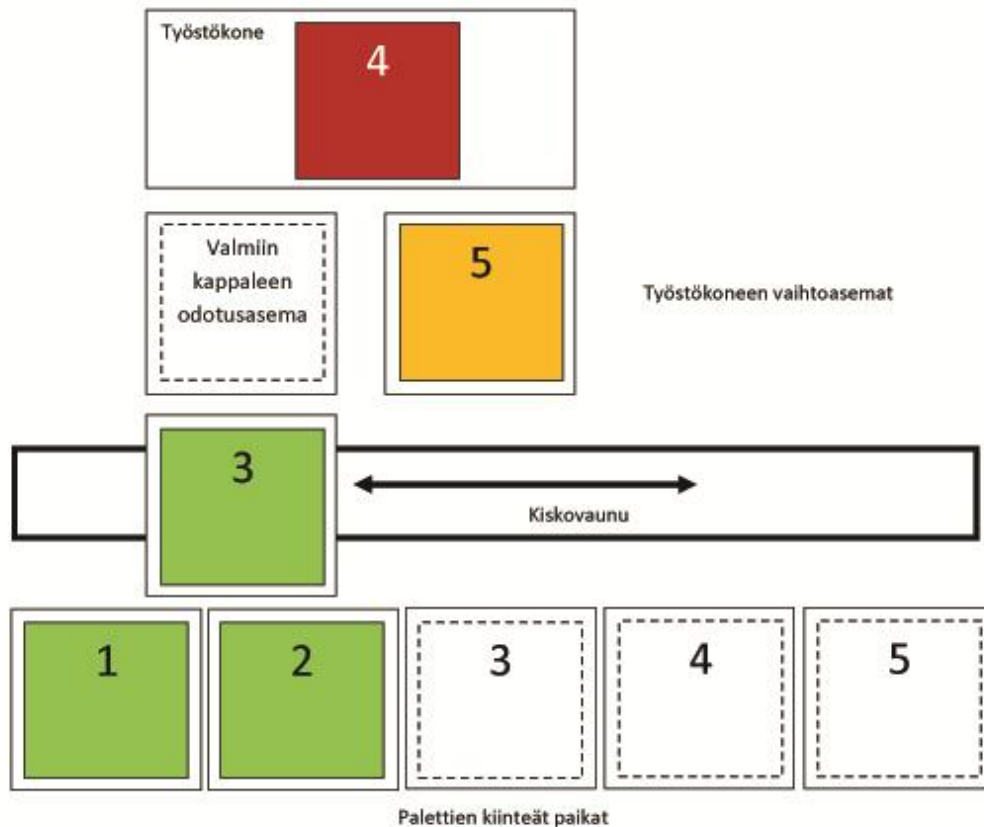
kääntö- ja odotuspaikka, automaattinen teränvaihtojärjestelmä sekä numeerinen ohjaus, jolla ohjataan kaikkia koneen toimintoja./6, 155/

Yhden työstökoneen yksiköissäkin tarvitaan varastojärjestelmä työkappaleiden varastoimiseksi pitkiä miehittämättömiä jaksoja varten. Halutun miehittämättömän jakson pituus määrää tarvittavan varaston koon ja varastopaikkojen määrän./6, 155/

Sorvausyksiköissä, *FTU*, kappaleet käsitellään erillisinä, joten varastointi tapahtuu tavallisesti kuormalavoilla ja siirtojärjestelmässä on yleensä portaalirobotti tai teollisuusrobotti. Kappaleiden lavalla liikkumisen estämiseksi on kuormalavoilla oltava paikoittimia (V-lovia, ohjureita, malline tms.) robotin tartuntaa varten. Sopiva paikoitustarkkuus on ± 1 mm. Yleensä paikoittimet ovat tuotekohtaisia, mutta pyrkimyksenä on löytää universaali ratkaisu, jotta kaikki kappaleet voitaisiin syöttää järjestelmään samoilla kuormalavoilla./6, 155/

Koneistuskeskus, *MCU*, on itsessään jo pitkälle automatisoitu. Useita niistä voidaan pitää sellaisenaan FMS-tekniikkaan kuuluvina yksiköinä. Ollakseen täysin automatisoitu tarvitsee koneistuskeskus kuitenkin palettijärjestelmän. Palettijärjestelmä koostuu paleteista, joihin kappaleet kiinnitetään, sekä palettien siirto- ja varastointijärjestelmästä. Paletteja voidaan varastoida joko samassa tasossa kuin koneen vaihtoasematkin ovat tai monitasoisessa hyllystössä. Kummassakin vaihtoehdossa paletit ohjataan tarkasti paikoilleen ohjauspintojen avulla. Paletteja voidaan siirtää kiskovaunulla, hyllystöhissillä tai palettiradalla./6, 156 - 157/

Kiskovaunu soveltuu hyvin yksitasoisen palettivaraston käsittelyyn. Kullakin paletilla on oma kiinteä paikkansa. Kiskovaunun kulkiessa palettien toisella puolella, kuten kaaviossa 1 on esitetty, kaikkia palettipaikkoja voidaan käyttää kappaleiden latausasemina./6, 157/

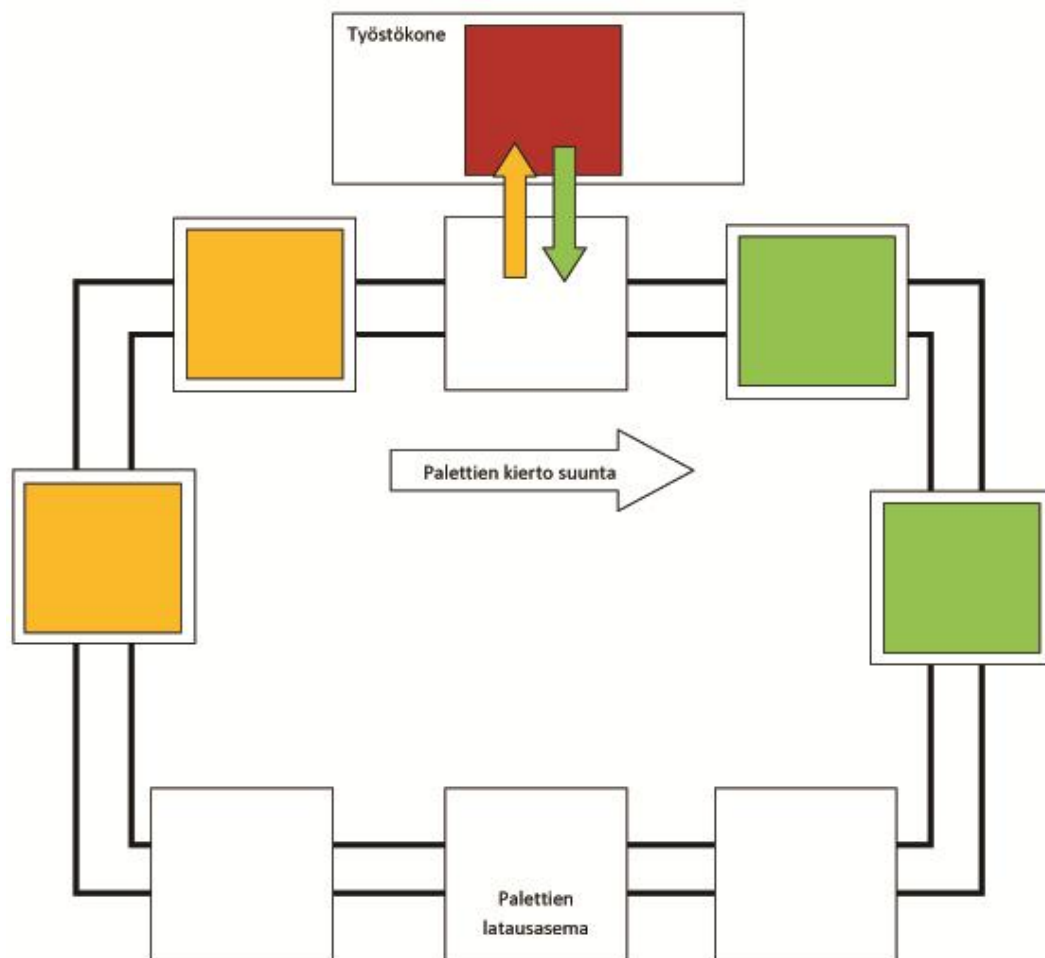


Kaavio 1. Kiskovaunun toimintaperiaate./6, 158/

Kaaviossa 1 on esitetty kiskovaunun toimintaperiaate. Paletti 3 on tulossa varastoon koneistettuna. Paletti 4 on koneistettavana ja paletti 5 odottaa koneistusta. Paletit 1 ja 2 odottavat valmiina kappaleiden vaihtoa./6, 158/

Hyllystöhissiä voidaan käyttää kuten kiskovaunua. Poikkeuksena kuitenkin on, että hyllystöhississä tarvitaan oma latausasema, koska kappaleita ei voi vaihtaa hyllyssä./6, 158/

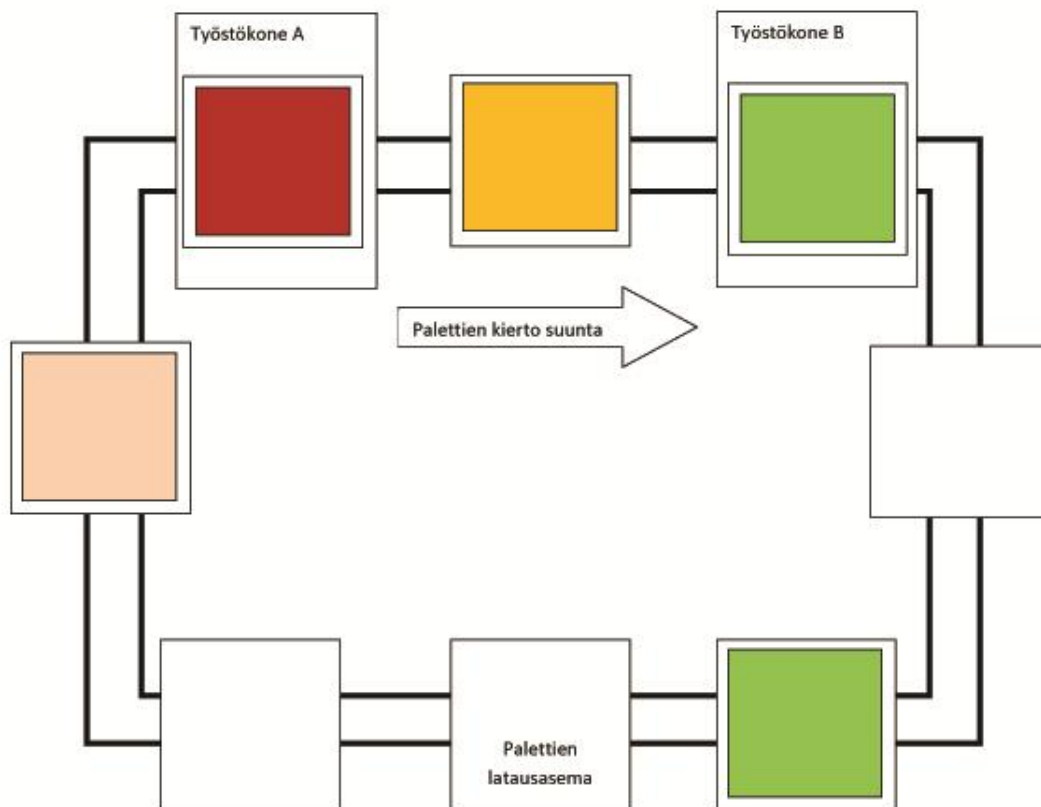
Palettirata toimii koneistuskeskuksen varastona, siirtäjänä, lataus- ja odotusasemana. Koneistettu paletti tulee koneistuskeskuksesta paikalleen radalle, rata askeltaa eteenpäin. Mikäli kohdalle sattuu koneistettu kappale, jota ei ole latausasemassa vaihdettu aihioon, rata ottaa askeleen eteenpäin. Paletin tiedot päivitetään latausasemassa kappaleita vaihdettaessa valmiista aihioon. Palettiradan toimintaperiaate on esitetty kaaviossa 2./6, 157 – 158/



Kaavio 2. Palettirata työstökoneen edessä./6, 158/

4.1.2 FTL

Joustavasti automatisoitu transfer-linja, FTL, Flexible Transfer Line, on FMS-tekniikkaan kuuluva automatisoitu tuotantolinja, jossa työnkulku on kiinteä. Kappaleet kulkevat kaikkien järjestelmässä olevien työstökoneiden läpi. Tästä syystä transferlinja ei ole yhtä joustava kuin varsinainen FMS erilaisten kappaleiden suhteen. Kappaleiden pitää olla samantyyppisiä toistensa kanssa, toki erilaisia variantteja voi olla runsaasti. Joustavasti automatisoitu transferlinja on tehokas, selkeä ja läpäisyajaltaan lyhyt. Kaaviosta 3 ilmenee transferlinjan toimintaperiaate. Latausasemassa kappaleiden latauksen voi suorittaa koneenkäyttäjää tai vaihtoehtoisesti siinä voidaan käyttää teollisuusrobotia./6, 159 – 160/



Kaavio 3. Joustavan transferlinjan työnkulkukaavio./6, 159/

4.1.3 Varsinainen FMS

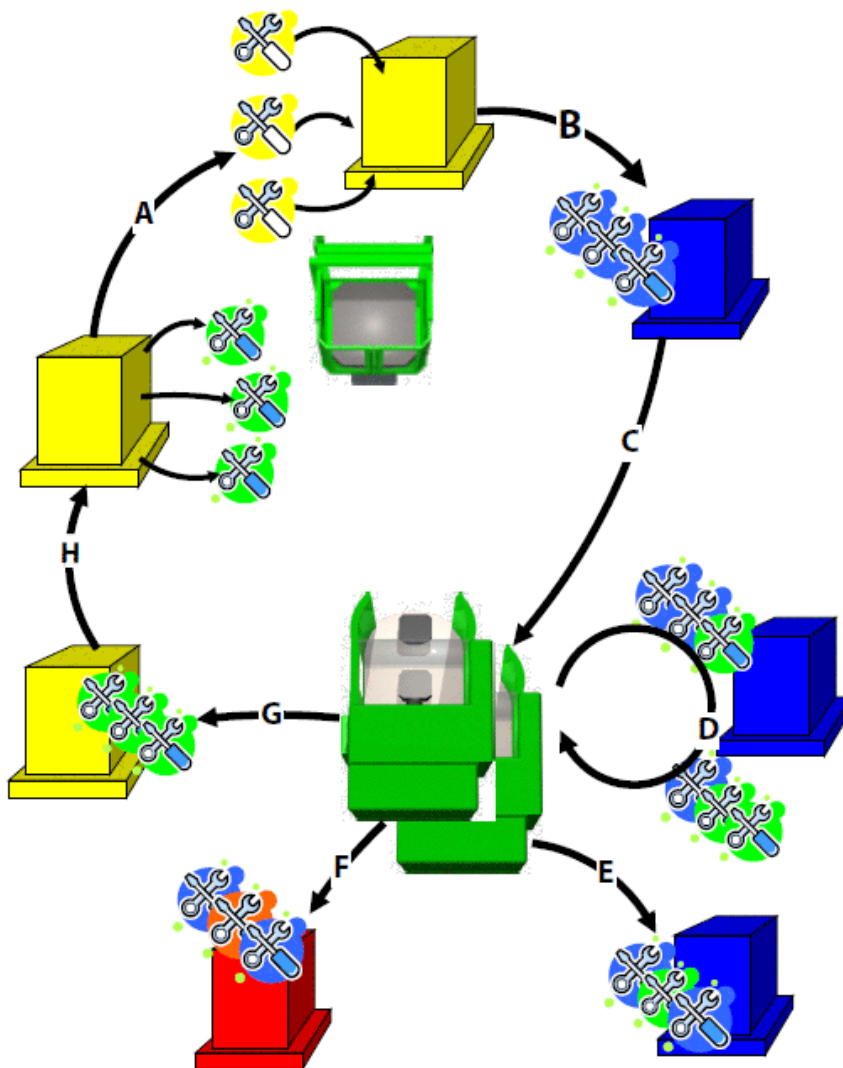
Varsinaisessa monikoneisessa FMS-järjestelmässä on useita NC-koneita ja kappaleen reitti on vapaasti ohjelmoitavissa. Varsinaisen FMS:n tunnusmerkkinä pidetään tietokonepohjaista keskusohjausta. Keskusohjauksen pätehtävänä on työjonojen ja NC-ohjelmien käytön hallinta. Tietokoneohjattu keskusohjaus ei kuitenkaan ole välttämätön käyttäjän ja tuotantojärjestelmän kannalta. Työjonot voivat olla visuaalisia kuljettimilla ja NC-ohjelmien hallinta voidaan ohjata suoraan työstökoneille./6, 161/

Tietokoneohjattu keskusohjaus on kuitenkin välttämätön pitkien miehittämättömien tuotantojaksojen mahdollistamiseksi ja jos järjestelmä käyttää uusien kappaleiden asettamiseen ja valmiiden kappaleiden purkuun robottia. Käyttäjän tulee syöttää tiedot tuotantoon tulevista kappaleista keskusohjaukseen. Ohjaus hakee omasta

muististaan kappaleille tiedot käytettävistä työketjuista, esimerkiksi osanumeron tai tilausnumeron perusteella.

4.2 FMS:n toimintaperiaate

Kaaviossa 4 on esitetty varsinaisen FMS-järjestelmän työkulkukaavio. Kuviossa keltaiset laatikot ovat latausasemia, siniset laatikot ovat varastopaikkoja. Punainen laatikko on niin sanottu susiasema. Kuvion keskellä olevat vihreät laatikot kuvaavat järjestelmän työstökoneita. Lenkkiavaimen ja ruuvitaltan kuvat kuvaavat työvaiheita. Sinisellä pohjalla oleva lenkkiavain ja ruuvitaltta kuvaa määriteltyä tekemätöntä työvaihetta. Vihreällä pohjalla oleva lenkkiavaimen ja ruuvitaltan kuva kertoo tehtyjen työvaiheiden määrän. Punaisella pohjalla oleva lenkkiavaimen ja ruuvitaltan kuva kertoo keskeytyneestä työvaiheesta. Keltaisella pohjalla oleva lenkkiavaimen ja ruuvitaltan kuva kertoo vielä lataamattomista työvaiheista.



Kaavio 4. FMS-järjestelmän työkulkukaavio./5/

Kaavion kohdissa A-B työstettävät kappaleet kiinnitetään tyhjälle paletille ja lähetetään haluttuun työketjuun. Kiinnitys tapahtuu joko käyttäjän toimesta tai vaihtoehtoisesti teollisuusrobotilla. Robotin käyttö kappaleiden kiinnityksessä asettaa rajoituksia koneistettavalle kappaleelle painon ja fyysisen koon suhteen. Kiinnitetyt kappaleet ladataan ohjausjärjestelmän avulla ja lähetetään kunkin kappaleen tuotekohtaiselle reitille. Mikäli työketjussa määritelty työstökone on varattu, siirtyy paletti varastoon odottamaan vuoroaan. Paletti lähetetään vapautuneelle työstökoneelle kuvion 2 kohdassa C. Kohdassa D työketjuissa määriteltyjen työkalutietojen ja työstökoneiden saatavuuden perusteella paletin työketjut käsitellään

yhdellä tai useammalla työstökoneella. Jos työketjussa määritelty työstökone on varattu, odottaa paletti varastossa kyseisen työstökoneen vapautumista, kohta E. Kohdassa F paletti siirtyy susiasemaan odottamaan käyttäjän määrittelemää toimintoa, mikäli jokin työketjun vaihe keskeytyy tai epäonnistuu. Kohdassa G paletti siirtyy varastoon odottamaan purkua, kun kaikki työketjun vaiheet ovat valmiita tai, jos jonoa ei ole, suoraan latausasemaan. Kohdassa H käyttäjä tai robotti poistaa valmiit kappaleet paletilta latausasemassa ja antaa ohjausjärjestelmälle tiedon paletin tyhjentymisestä. /5/

4.3 Robotti osana FMS-järjestelmää

Nykyään yhä useammin FMS-järjestelmistä löytyy teollisuusrobotti. Robotilla voidaan toteuttaa useita työketjun vaiheita, kuten kappaleiden asettaminen kiinnitimiin ja kappaleiden kääntö eri työvaiheiden välillä. Robotin käyttö kappaleiden asettamisessa ja käsittelyssä mahdollistaa pitkien miehittämättömien työjaksojen ajamisen. Käyttäjän tarvitsee vain huolehtia, että järjestelmässä on valmistettavien tuotteiden valmistusjärjestys ja työketjujen tiedot oikein sekä valmistettavien kappaleiden aihioita robotin saatavilla koko suunnitellun työjakson ajaksi.

Robottien käytön suurimmat hyödyt materiaalin käsittelyssä ovat suorien työvoimakustannusten aleneminen ja vaarallisten, ikävien ja väsyttävien töiden siirtäminen ihmisiltä robotin tehtäväksi. Robottien käyttö myös vähentää hauraiden kappaleiden käsittelyssä aiheutuvia vahinkoja. Monissa materiaalin käsittelysovelluksissa eri automaation muodot ovat soveltuvampia, jos tuotantomäärät ovat suuria ja työkappaleen käsittely ei ole tarpeellista. /7, 845/

Robotti voi myös toimia yhtenä FMS-järjestelmän työstökoneena toteuttaen työvaiheita, kuten jäysteenpoisto, hitsaus, maalaus, kokoonpano tai tarkastus. Tällöin robotti on usein sijoitettuna omaan soluunsa.

5 ETÄOHJELMOINTI

Robottien etäohjelmointi tai off-line ohjelmointi on tuotannon ulkopuolella tapahtuvaa robottien käskyjen ja paikoituspisteiden ohjelmointia. Ohjelmointi tehdään tuotannon ulkopuolisella tietokoneella. Etäohjelmointi vastaa NC-koneille tarkoitettua CAD/CAM-ohjelmointia./8, 81 – 82/

Perinteisesti robottien ohjelmointi suoritetaan suoraan tuotantorobotilla opettamalla. Opettamalla ohjelmointi on tyydyttävä menetelmä kun ohjelmointiaika suhteessa tuotantoaikaan on lyhyt ja sovellus on yksinkertainen sisältäen vähän paikoituspisteitä. Opettamalla ohjelmointi vaatii aina tuotannon keskeyttämistä uuden ohjelman luomisen ajaksi. Robotin ohjelmointi opettamalla on usein aikaa vievää ja monimutkaisten sovellusten tekeminen vaikeaa, mikä johtaa pitkiin tuotamattomiin tuotantokatkoksiin. Etäohjelmointi vähentää tuotantokatkoja, kun robotin ohjelmointi voidaan suorittaa robottisolusta riippumatta./7, 353/

Etäohjelmointi voidaan jakaa kahteen ryhmään, tekstipohjaiseen ohjelmointiin ja mallipohjaiseen ohjelmointiin. Tekstipohjaisessa ohjelmoinnissa ohjelma kirjoitetaan tekstieditorilla. Mallipohjaisessa ohjelmoinnissa käytetään apuna 3D-mallien muototietoja.

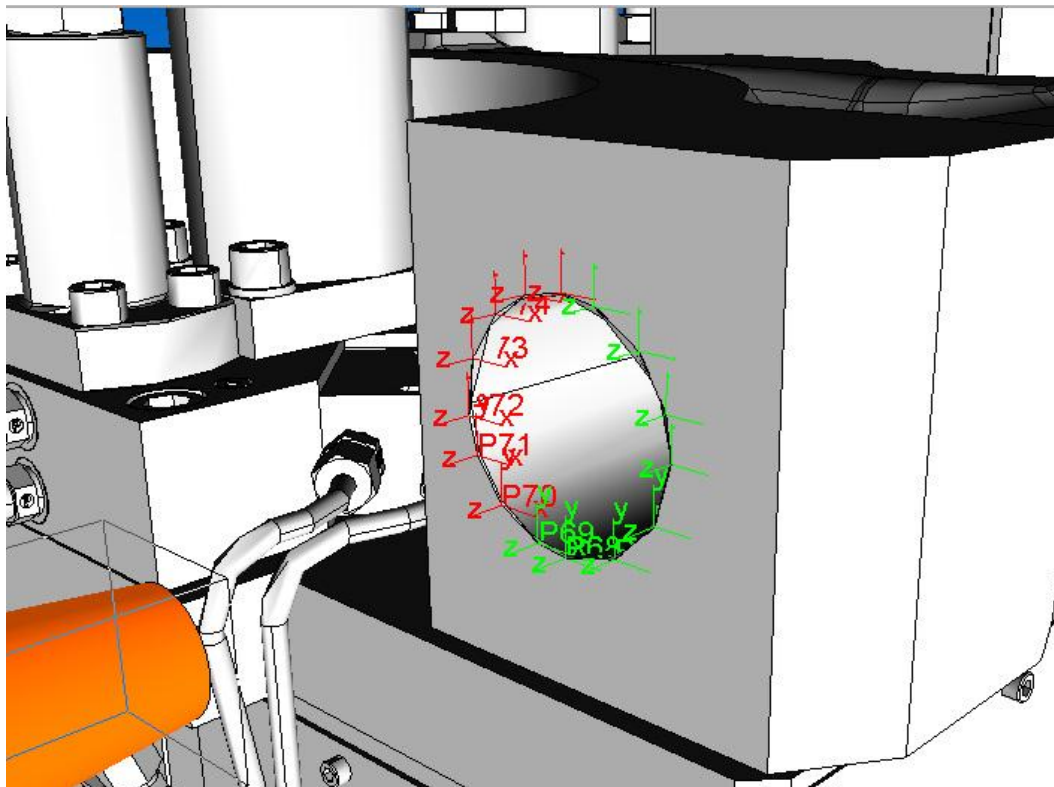
5.1 Mallipohjainen etäohjelmointi

Mallipohjainen etäohjelmointi voidaan erottaa muista ohjelmointimenetelmistä seuraavan määritelmän mukaan:

”Robottien mallipohjainen ohjelmointi (off-line) tarkoittaa robotin ohjelmointia ilman tuotantorobottia, tuotannon ulkopuolisessa tietokoneessa käyttäen 3D graafista käyttöliittymää ja robotin ja sen oheislaitteiden simulointimalleja sekä hyödyntäen valmistettavan tuotteen suunnittelun 3D-muototietoa.”/8, 81/

Mallipohjainen etäohjelmointi perustuu paikoituspisteisiin aivan kuten opettamalla ohjelmointikin. Paikoituspisteiden luomiseen käytetään apuna valmistettavan tuotteen CAD-muototietoa, kuten kuvassa 2 on tehty. Esimerkiksi 200 paikoituspisteen luomiseen riittää yksi komento: luo rata, sen sijaan että kaikki 200 paikoituspistettä opetettaisiin robotilla, ajamalla robotti pisteen paikkaan ja kirjoittamalla

la sen paikkatiedot robotin muistiin. CAD-muototietojen käyttö edellyttää, että valmistettavien tuotteiden ja tuotteiden kiinnittimien 3D-mallit pitävät paikkansa todellisuuden kanssa./8, 84 – 85/



Kuva 2. Työstöradan paikoituspisteet luotu käyttämällä kappaleen muototietoa.

Mallipohjaisella ohjelmointijärjestelmällä voidaan testata uuden tuotteen valmistettavuutta simuloimalla ennen kuin tuotteen prototyyppiä ja kiinnitintä on valmistettu. On tärkeää tietää soveltuuko olemassa oleva käsittely-, kiinnitys- ja muu oheislaitteisto tuotteen valmistukseen sellaisenaan ilman muutoksia. Perinteisesti tuotteen valmistettavuutta on testattu valmistamalla tuotteesta ja kiinnittimestä prototyyppi. Esimerkiksi uuden hitsattavan tuotteen hitsausjigin soveltuvuus tuotantoon simuloidaan ilman, että valmistetaan kalliita prototyyppijä, joita korjailaan myöhemmin vaiheittain./8, 82/

Etäohjelmointia voidaan hyödyntää myös uutta robottisolua hankittaessa sekä kartoitettaessa tuotteiden valmistettavuutta teollisuusrobotilla. Etäohjelmointiohjelmistoilla voidaan tehdä hankittavan robottisolun layout-suunnitelma ennen kuin robottia on hankittu tai otettu käyttöön. Simulointimallin avulla varmistetaan ro-

botin ulottuvuus koko sen työalueella sekä löydetään optimaalisimmat layout-vaihtoehdot, joissa robotti kykenee työskentelemään mahdollisimman esteettömästi. Lisäksi simulointimallin avulla voidaan varmistaa, että robotti toimii mahdollisimman optimaalisessa asennossa suhteessa työstökappaleeseen./8, 84/

5.2 Etäohjelmoinnin hyödyt

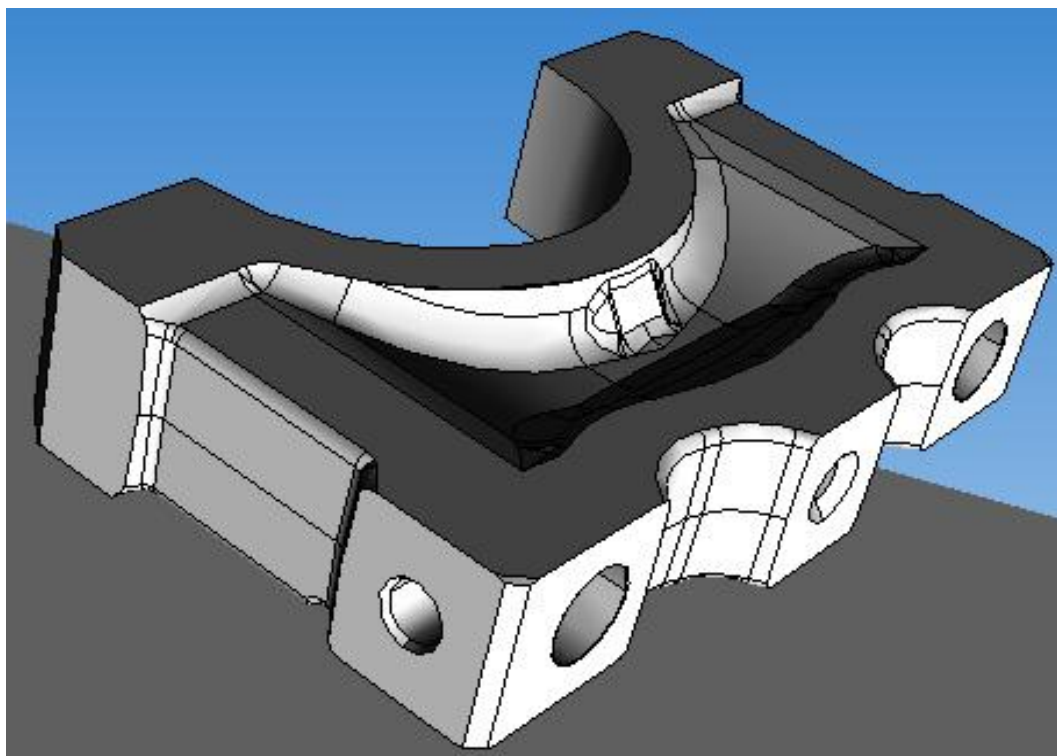
Etäohjelmoinnilla saavutettavat hyödyt voidaan listata seuraavasti:

- Robottien seisokkiajat lyhenevät. Robotti voi olla tuotannossa samalla kun sen seuraavaa työtä ohjelmoidaan. Näin robotin käyttöastetta saadaan nostettua ja seisokeista aiheutuvia kustannuksia pienennettyä.
- Robotti voidaan ohjelmoida turvallisessa ympäristössä. Esimerkiksi ampumatarviketeollisuudessa, valimoissa ja ydinvoimalaitoksilla robotit voivat olla sijoitettuna ihmisille vaarallisiin paikkoihin.
- Yhtenäinen ohjelmointijärjestelmä. Yhtä etäohjelmointijärjestelmää voidaan käyttää monen robotin ohjelmoimiseen robotin merkistä ja mallista riippumatta. Ohjelmoijan ei tarvitse tuntea kaikkien robottien ohjaimien ominaispiirteitä.
- Etäohjelmointiohjelmiston sulauttaminen olemassa olevien CAD/CAM-ohjelmistojen kanssa. Etäohjelmoinnissa voidaan käyttää tuotekehityksen kanssa samoja tuotetieto- ja mallikirjastoja.
- Monimutkaiset tehtävät voidaan toteuttaa yksinkertaisesti. Korkeatasoisten ohjelmistojen käyttö robottien ohjelmoinnissa mahdollistaa monimutkaisten tehtävien ohjelmoinnin.
- Robottiohjelmat voidaan verifioida eli tarkastaa ennen robotille siirtoa. Simulointimallin avulla robotin turvallinen ja esteetön liikkuminen voidaan tarkastaa ennen kuin ohjelma siirretään tuotantorobotille./7, 353 – 354; 8, 81 – 82/

6 ETÄOHJELMOINTIYMPÄRISTÖN MALLINTAMINEN

Etäohjelmointiympäristön mallintaminen aloitettiin tutustumalla robottisolun toimintaan. Robottisolu toimii osana FMS-järjestelmää, jossa on robottisolun lisäksi varastojärjestelmä sekä kaksi työstökeskusta. Robotin tehtävät ovat kappaleiden asettaminen kiinnittimiin koneistusta varten, kappaleiden kääntö työvaiheiden välillä, jäysteenpoisto sekä kappaleiden asettaminen pesukoneeseen ja pois.

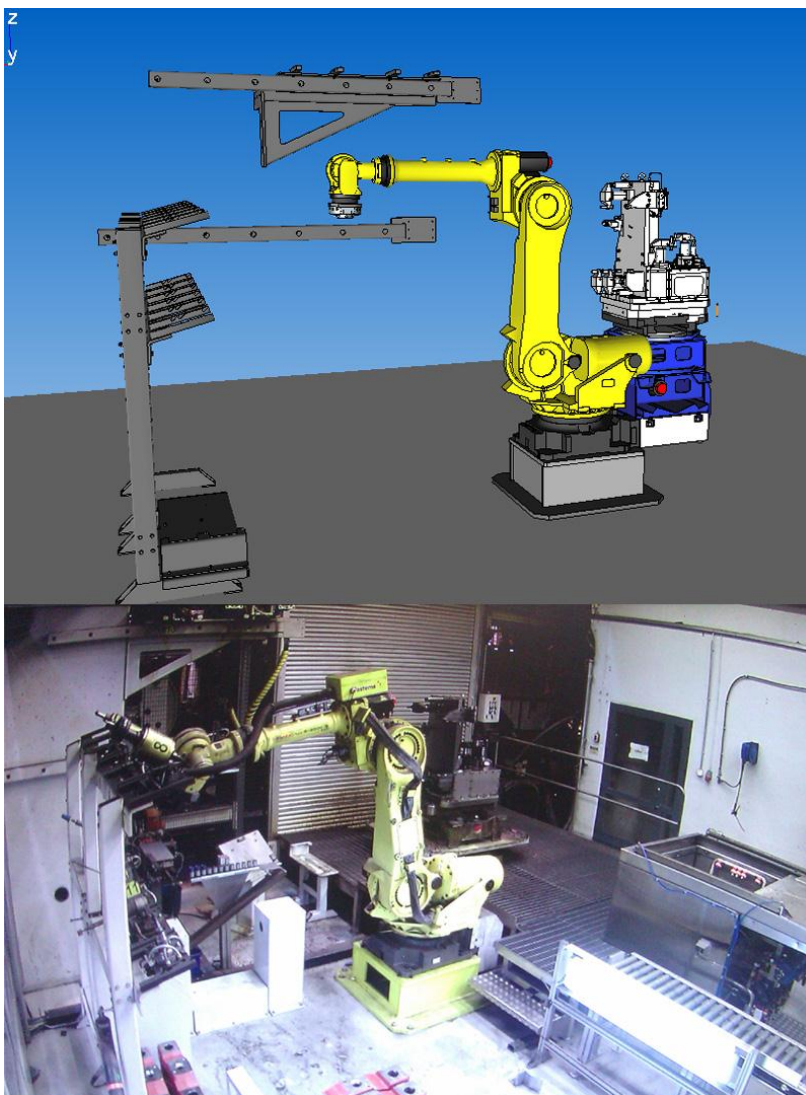
Robottisoluun tutustumisen jälkeen kartoitettiin mitkä robotin tehtävät halutaan ensisijaisesti ottaa mukaan etäohjelmointiin. Jäysteenpoisto-ohjelmien ohjelmointi robotilla opettamalla on työlästä ja aikaa vievää paikoituspisteiden suuren määrän vuoksi. Tästä johtuen jäysteenpoisto-ohjelmien ohjelmointi valittiin etäohjelmoinnin ensisijaiseksi tehtäväksi. Samalla valittiin ensimmäinen etäohjelmoinnin avulla valmistettava tuote. Tuotteeksi valittiin Wärtsilän moottorin runkolaakerin satula, joka on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Wärtsilän moottorin runkolaakerin satulan 3D-malli.

6.1 Solun mallinnus

Robottisolun mallinnuksessa pyrittiin hyödyntämään Fastsimusta löytyvää mallikirjastoa niin paljon kuin mahdollista. Mallikirjastosta saatiin kaikki solun perusosat kuten robotti, kääntöpöytä ja kääntöpöydän alla oleva lineaarirata. Loput komponentit eli kappaleen kiinnitin ja työkalupale saatiin Wärtsilän suunnitteluosastolta Fastsimun kanssa yhteensopivassa tiedostomuodossa. Simulointimallin yksinkertaistamiseksi komponentit, joita ei tarvitse jäysteenpoisto-ohjelmien ohjelmoinnissa, jätettiin pois simulointimallista. Törmäystarkastelujen mahdollistamiseksi simulointimalliin otettiin mukaan 3D-mallit työkalupaleen kiinnittimestä sekä työkalutelineestä, vaikka ne eivät ole välttämättömiä työstörajoja luotaessa.

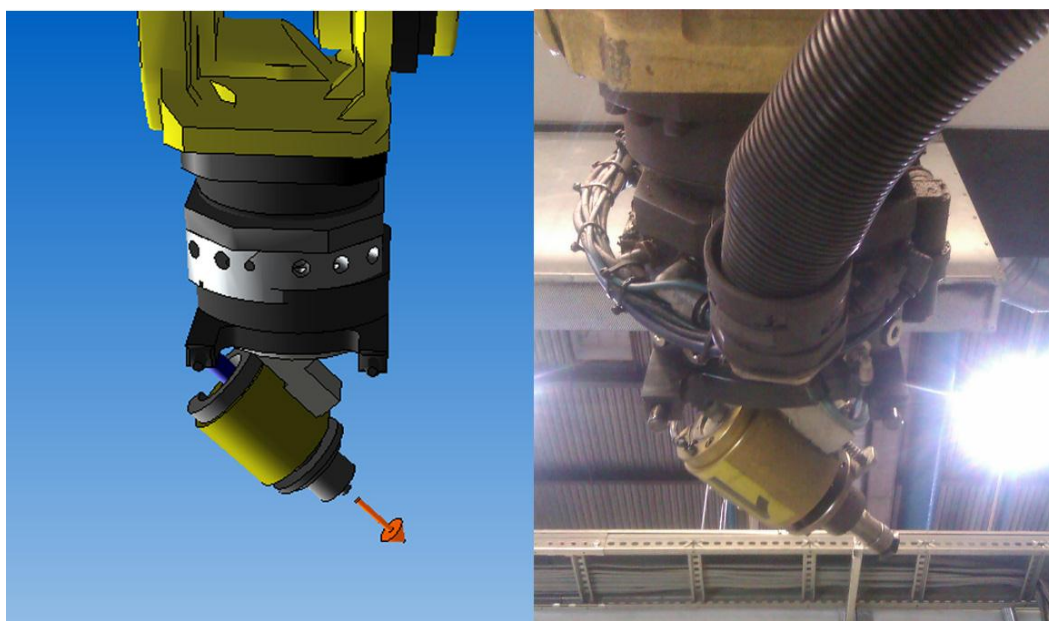


Kuva 4. Robottisolun simulointimalli ja robottisolu todellisuudessa.

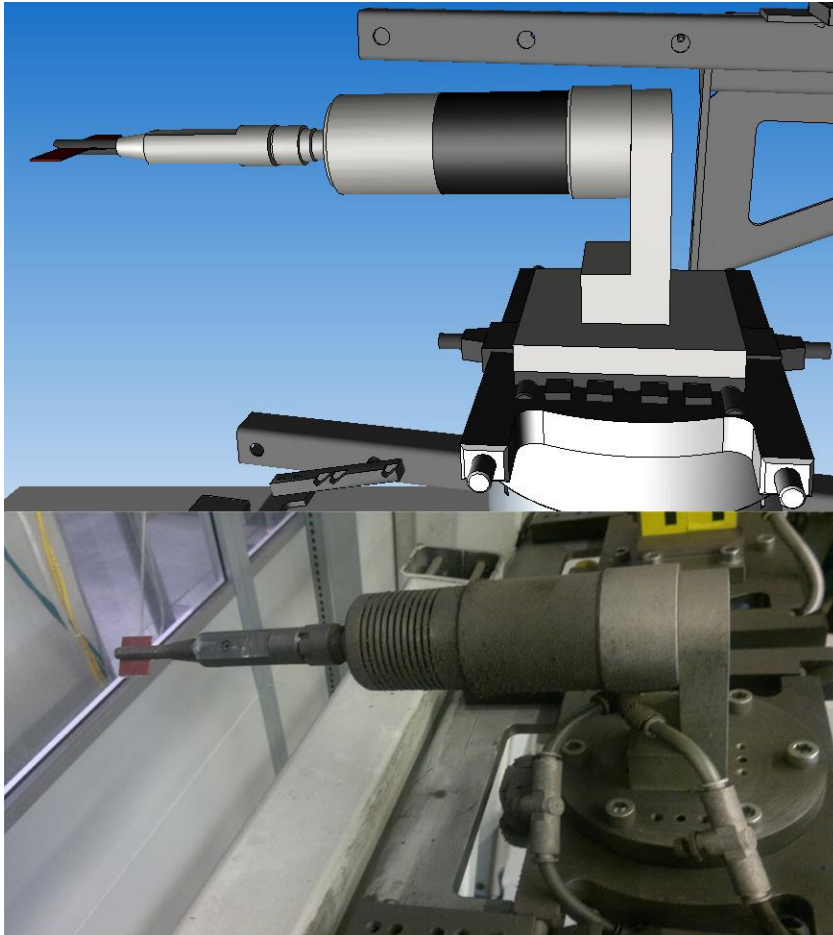
Kuten kuvasta 4 nähdään, simulointimalli on yksinkertaisempi kuin todellinen robottisolu. Kuitenkin kaikki ohjelmointiin tarvittavat komponentit on mallinnettu.

6.2 Työkalujen mallinnus

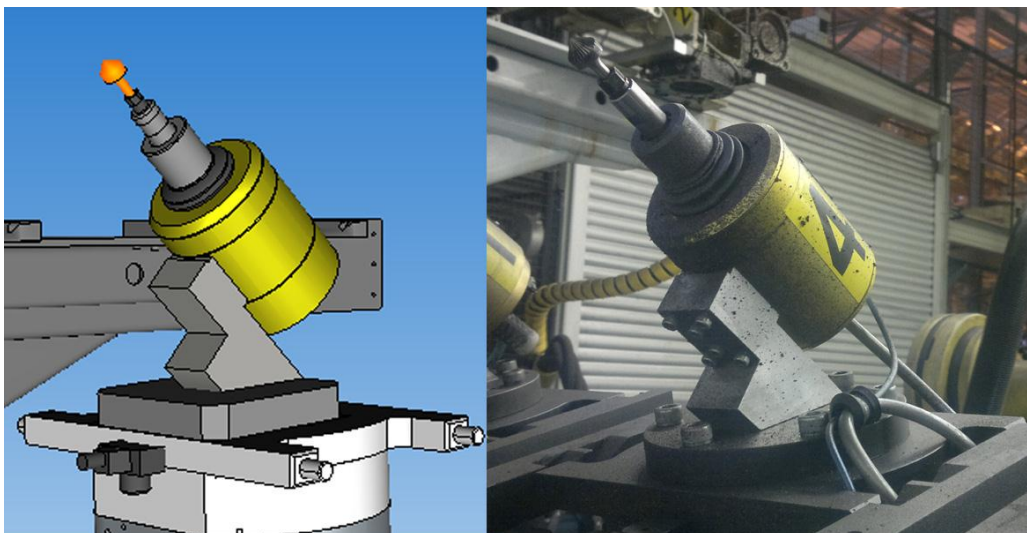
Työkalujen mallinnus aloitettiin selvittämällä mitä robotin työkaluja jäysteenpoistossa tarvitaan. Tarvittavia työkaluja on yhteensä viisi, työkalut numero 1, 2, 4, 8 ja 10. Kuvissa 5 – 9 on työkalut ja niiden simulointimallit. Työkaluja mallinnettaessa pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman paljon Fastsimun mallikirjastoa, kuten tehtiin solun mallinnuksessa. Mallikirjastosta löytyy monen eri robottityökalujen valmistajien tuotteiden valmiita malleja. Kuitenkaan mallikirjaston malleja ei voitu käyttää muuten kuin työkalujen runkojen osalta, joten työkalujen terät mallinnettiin todellisten mittojen mukaan Siemens NX 3D-suunnitteluohjelmalla.



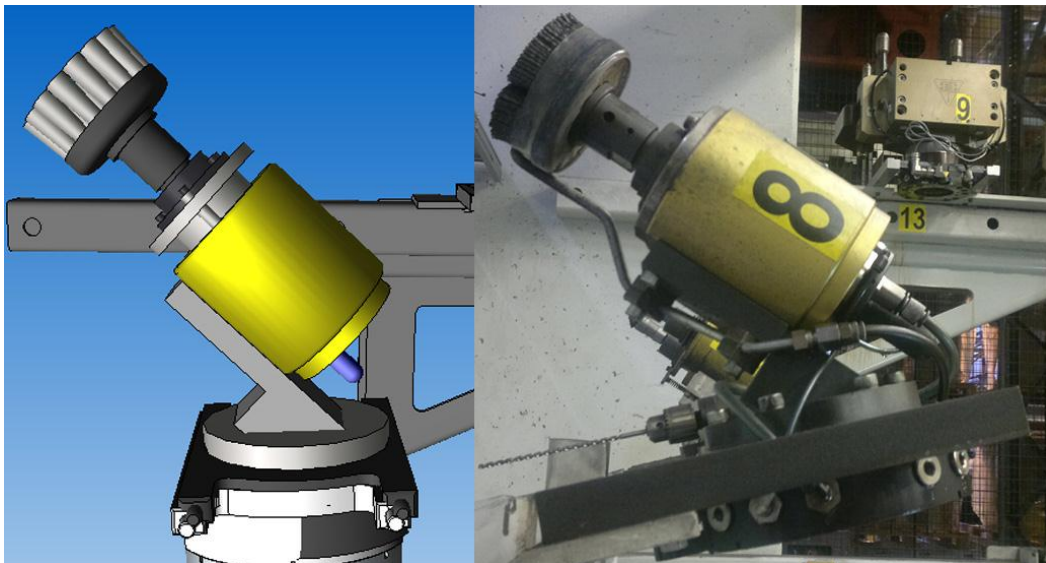
Kuva 5. Robotin työkalun numero 1 simulointimalli ja todellinen työkalu.



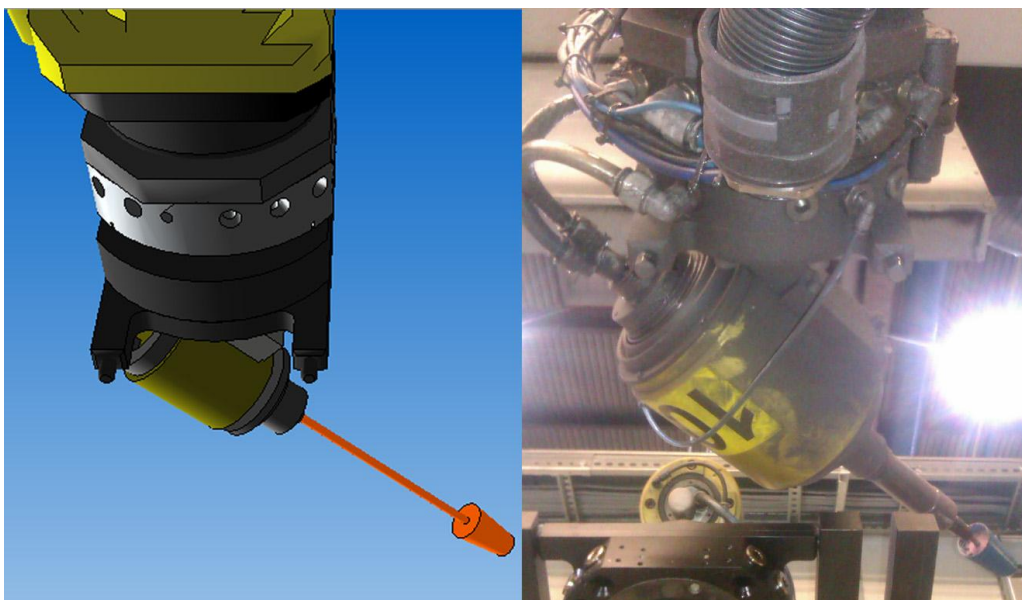
Kuva 6. Robotin työkalun numero 2 simulointimalli ja todellinen työkalu.



Kuva 7. Robotin työkalun numero 4 simulointimalli ja todellinen työkalu.



Kuva 8. Robotin työkalun numero 8 simulointimalli ja todellinen työkalu.



Kuva 9. Robotin työkalun numero 10 simulointimalli ja todellinen työkalu.

Kuten kuvista 5 – 9 havaitaan, työkalujen simulointimallit eivät näytä täysin samalta todellisten työkalujen kanssa. Kuitenkin simulointimallissa työkalumäärittelyt ja terien mitat vastaavat todellisen robotin työkalumäärittelyksiä ja terien mittoja. Koska työkalumäärittelyt ja terien mitat pitävät paikkansa todellisuuden kanssa, simulointimallissa luodut robottiohjelmat ovat täysin toimivia sellaisenaan.

6.3 Kalibrointi ja verifiointi

Kalibroinnissa simulointimalli mitataan tuotantorobottia apuna käyttäen ja mitatut arvot tuodaan simulointimalliin. Tässä tapauksessa mitatut arvot sisään luettiin robotin paikoituspisteinä robottiohjelman muodossa.



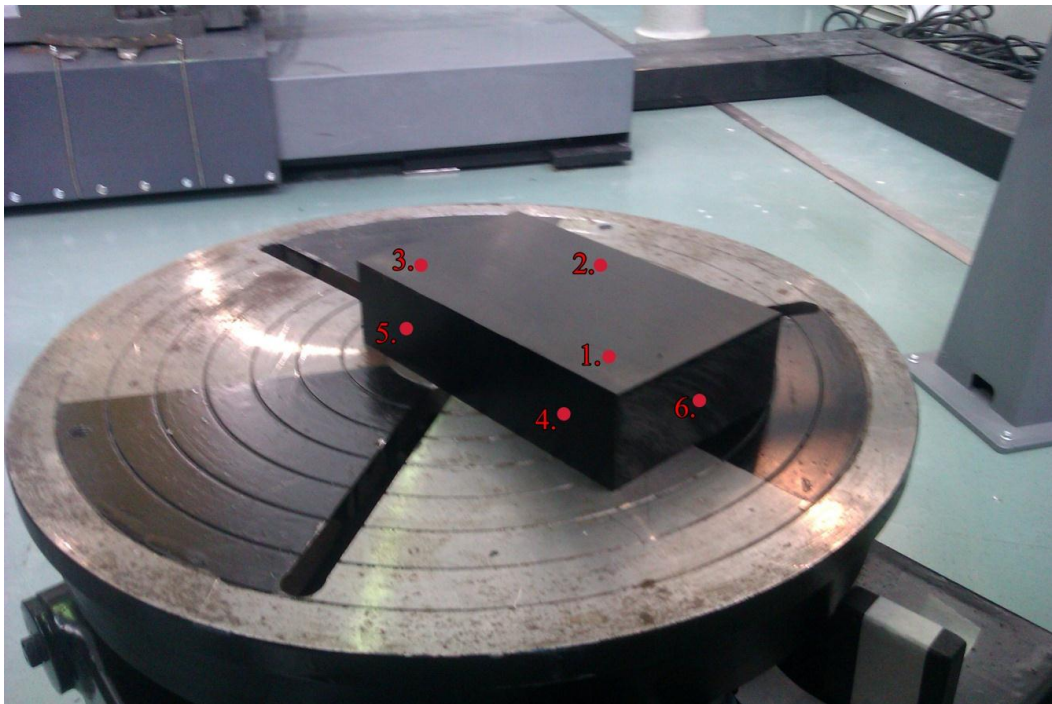
Kuva 10. Kalibrointiipiikit paikoillaan.

Ennen kalibroinnin aloittamista todellisen robotin työkaluksi asetettiin kalibrointiipiikki. Lisäksi pyörityspöydän nurkkaan, mahdollisimman kauas pyöritysakselista, asetettiin toinen kalibrointiipiikki. Kuvassa 10 on ympyröity punaisella kalibrointiipiikit paikoillaan robotin laipassa ja pyörityspöydässä.

Itse kalibrointi aloitettiin määrittämällä pyörityspöydän akselin paikka simulointimalliin Fastsimun Least Square Part Calibration (LSQ) työkalua hyödyntäen. LSQ-työkalun tarvitsemassa robottiohjelmassa on 10 robotilla opetettua paikoituspistettä. Paikoituspisteissä kalibrointiipiikkien kärjet ovat vastakkain ja kääntöpöytää käännetään 36° pisteiden välillä. Näiden 10 paikoituspisteen avulla Fastsimu laskee pyörityspöydän keskiakselin paikan.

Kun pyörityspöydän paikka saatiin vastaamaan todellisen pöydän paikkaa, kalibrointia jatkettiin määrittämällä kiinnittimen todellinen paikka. Tässä käytettiin apuna Fastsimun työkalua 6/9-Point Part Calibration (6/9-PPC). Kalibrointi suori-

tettiin 6 paikoituspisteellä, jotka opetettiin todellisella robotilla. Paikoituspisteet opetettiin kolmelle kiinnittimen tasolle. Tasojen tulee olla kohtisuoria toisiinsa nähden. Kuvassa 11 on esitetty paikoituspisteiden opetusjärjestys.



Kuva 11. Kalibrointipisteiden opetusjärjestys.

Opetettujen paikoituspisteiden avulla kiinnittimen paikka on määritelty todellisuutta vastaavaksi. 6/9- Point Part Calibration menetelmä käytettäessä tulee kiinnittimen 3D-mallin vastata mitoiltaan todellista kiinnitintä.

Kiinnittimen kalibroinnin jälkeen tulisi vielä työkappaleen paikka kalibroida todellisuutta vastaavaksi. Tätä ei kuitenkaan opinnäytetyön puitteissa voitu suorittaa runkolaakerinsatulan koneistuksessa ilmenneistä haasteista johtuen sekä aikataullisista syistä. Koska työkappaletta ei voitu kalibroida, simulointimallin testausta ei voitu suorittaa. Testauksella olisi tarkoitus tarkistaa työkalujen ja simulointimallin komponenttien määritysten paikkansa pitävyys todellisen robottisolun kanssa.

7 OHJEEN KIRJOITTAMINEN

Etäohjelmointiympäristön luomisen lisäksi tehtiin kaksi ohjetta, etäohjelmointiympäristön tarkistusmenettely ja ohje uuden tuotteen lisäämiseksi simulointimalliin. Ohjeet ovat liitteenä 1 ja 2.

7.1 Etäohjelmointiympäristön tarkistusmenettely

Etäohjelmointiympäristön tarkistusmenettelyn ohje tehtiin askel askeleelta toteutettavaksi. Kaikki tarvittavat valikkojen selailut ja hiiren klikkaukset on kirjoitettu selkeästi lihavoituna. Lisäksi ohjeeseen on liitetty havainnollistavia kuvia selkeyttämään ohjeen seuraamista.

Tarkistusmenettely tulee suorittaa aina kun simulointimallissa havaitaan ohjelmoinnista riippumattomia paikoitusvirheitä.

7.2 Ohje uuden tuotteen lisäämiseksi

Etäohjelmointia tullaan jatkossa hyödyntämään muidenkin tuotteiden valmistuksessa kuin vain moottorin laakerin satulan jäysteenpoistossa. Tätä silmällä pitäen tehtiin ohje uuden tuotteen lisäämiseksi. Ohjeessa on kerrottu kaikki vaiheet mitä uuden tuotteen lisääminen simulointimalliin vaatii. Jokainen hiiren klikkaus ja toimenpide on lihavoitu erottuakseen muusta tekstistä. Kriittiset toimenpiteet on lisäksi esitetty kuvin selkeyttämään ohjeen seuraamista.

Ohjeen on tarkoitus toimia apuna henkilöille, jotka eivät ole Fastsimulla etäohjelmointia tai simulointimallia tehnyt aikaisemmin. Ohje kirjoitettiin samalla kun simulointimallia tehtiin ja näin ollen sen tekemiseen ei saatu ulkopuolista näkökulmaa. Tästä syystä ohjeessa saattaa ilmetä puutteita.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksensa oli tehdä olemassa olevaan robottisolun etäohjelmointiympäristö Fastimu tuotannosimulointiohjelmalla. Ensimmäiseksi etäohjelmoinnin avulla valmistettavaksi tuotteeksi valittiin Wärtsilän moottorin runkolaakerin satula. Etäohjelmoinnilla pystytään vähentämään robotin ohjelmoinnista aiheutuvia tuotantokatkoksia. Lisäksi etäohjelmointi ohjelmassa robotin liikkeet voidaan testata ja tarkistaa simuloimalla. Etäohjelmointiympäristön luonnin lisäksi tarkoituksena oli laatia ohje uuden tuotteen lisäämiseksi simulointimalliin.

Robottisolu saatiin mallinnettua kaikkine etäohjelmoinnissa tarvittavine komponentteineen. Simulointimallin kalibrointia ei kuitenkaan saatu suoritettua loppuun laakerin satulan kiinnittimen kanssa ilmenneiden ongelmien vuoksi sekä aikataulullisista syistä johtuen. Puutteellisen kalibroinnin vuoksi simulointimallin toimivuutta ei päästy testaamaan. Kuitenkin robottisolun työkalut ja muut etäohjelmoinnissa tarpeelliset komponentit saatiin mallinnettua. Ennen kuin etäohjelmointia päästään aloittamaan, tulee työkappaleen paikka määrittää simulointimallissa todellisuutta vastaavaksi. Ohje uuden tuotteen lisäämiseksi saatiin toteutettua ilman suurempia ongelmia. Ohjeen kirjoittaminen itsessään on todella haastavaa, koska jokainen lukija ymmärtää lukemaansa omalla tavallaan. Niinpä ohje pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena, yksiselitteisenä ja johdonmukaisena.

Ensimmäinen jatkotoimenpide etäohjelmointiympäristön käyttöönotossa on työkappaleen kalibrointi. Kun työkappaleen paikka on kalibroitu vastaamaan paikkaa todellisessa robottisolussa, voidaan simulointimallin paikkansapitävyys testata. Jatkossa etäohjelmointia voidaan laajentaa niin että kaikki robottiohjelmat toteutetaan etäohjelmointina jäysteenpoistossa tarvittavien työkiertojen lisäksi. Tällöin pitää simulointimalliin lisätä 3D-mallit todellisen robottisolun loppuista työkaluista. Lisäksi etäohjelmointiympäristön visuaalisen ilmeen parantamiseksi työkalunvaihdot voidaan lisätä simulointimalliin. Näin simulointimallista saadaan enemmän todellisen robottisolun näköinen.

LÄHTEET

- /1/ About Wärtsilä. 2013. Wärtsilän verkkosivut. Viitattu 25.2.2013.
<http://www.wartsila.com/en/about/company-management/overview>
- /2/ Wärtsilä in Finland. 2013. Wärtsilän verkkosivut. Viitattu 25.2.2013.
http://www.wartsila.com/en_FI/about-us/overview
- /3/ Fastems Fastsimu. 2013. Fastemsin verkkosivut. Viitattu.6.3.2013.
<http://www.fastems.com/fi/tuotteet/automaatio-ohjelmistot/fastsimu/>
- /4/ Joustava valmistusjärjestelmä työstökoneiden automatisointiin. 2013. Fastemsin verkkosivut. Viitattu 11.3.2013.
http://www.fastems.com/fi/tuotteet/valmistusfilosofiat/joustava_valmistus/
- /5/ Joustavan valmistusjärjestelmän työnkulun pääperiaatteet. 2013. Fastemsin verkkosivut. Viitattu 19.3.2013.
http://www.fastems.com/fi/tuotteet/valmistusfilosofiat/joustava_valmistus/joustavan_valmistusjarjestelman_tyonkulkukaavio/
- /6/ Lapinleimu, I., Kauppinen, V & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Helsinki. WSOY.
- /7/ Nof, S. Y. 1999. Handbook of Industrial Robotics. 2nd edition. New York. John Wiley & Sons, Inc.
- /8/ Kuivanen, R. Robotiikka.1999. Vantaa. Talentum Oyj/Metallitekniikka.

SIMULOINTIMALLIN KALIBROINNIN TARKISTUSMENETTE-
LY

Aloitustoimenpiteet

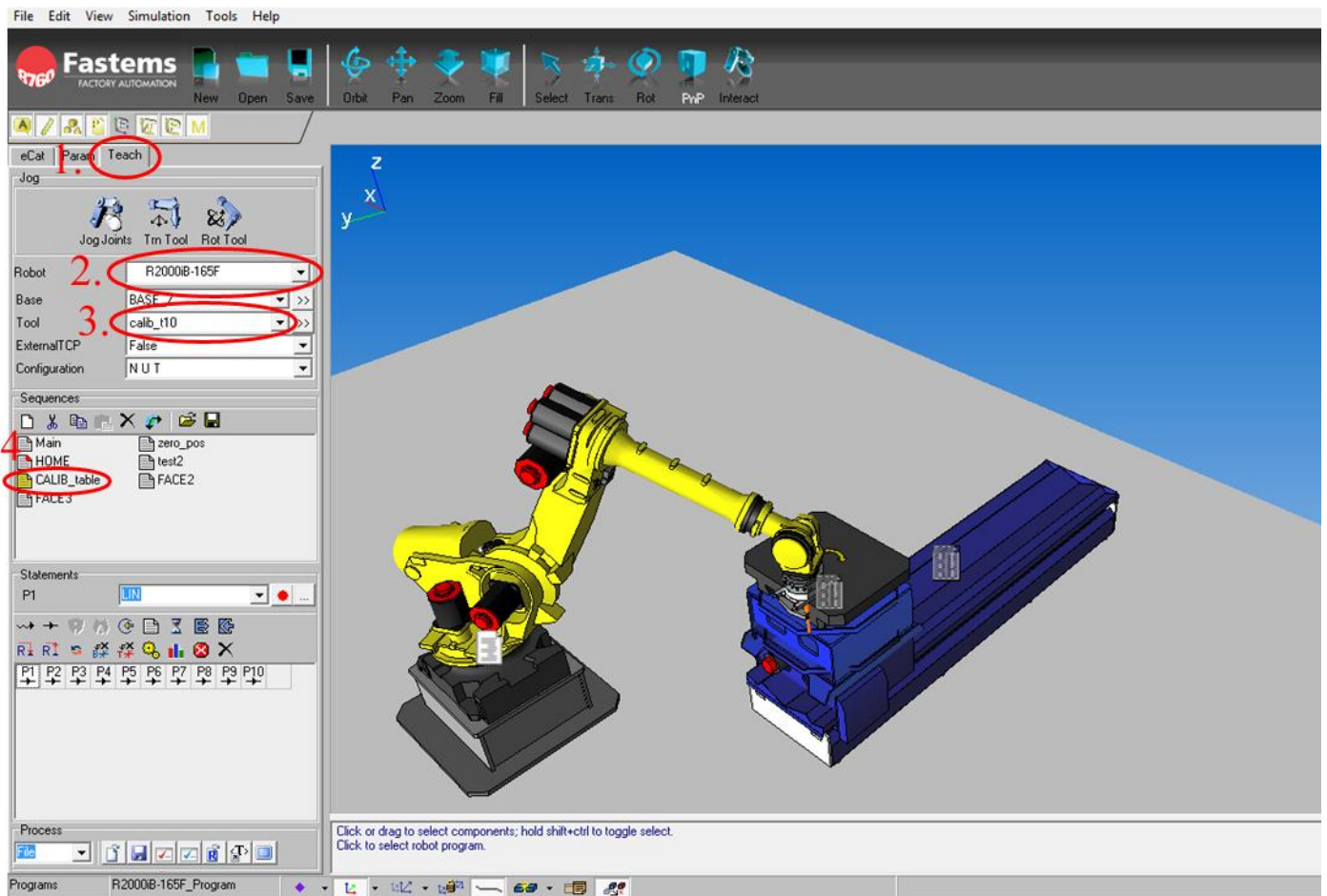
Aloitettaessa simulointimallin tarkistusta pitää robotissa olla kalibrointioppiikki kiinni robotin laipassa (Tool_10). Kääntöpöytä pitää olla myös tyhjä ilman työstettävien kappaleiden kiinnittimiä. Kalibrointioppiikki pitää myös olla kiinnitettynä kääntöpöydän oikeaan etukulmaan.



Tarkistuksen kulku

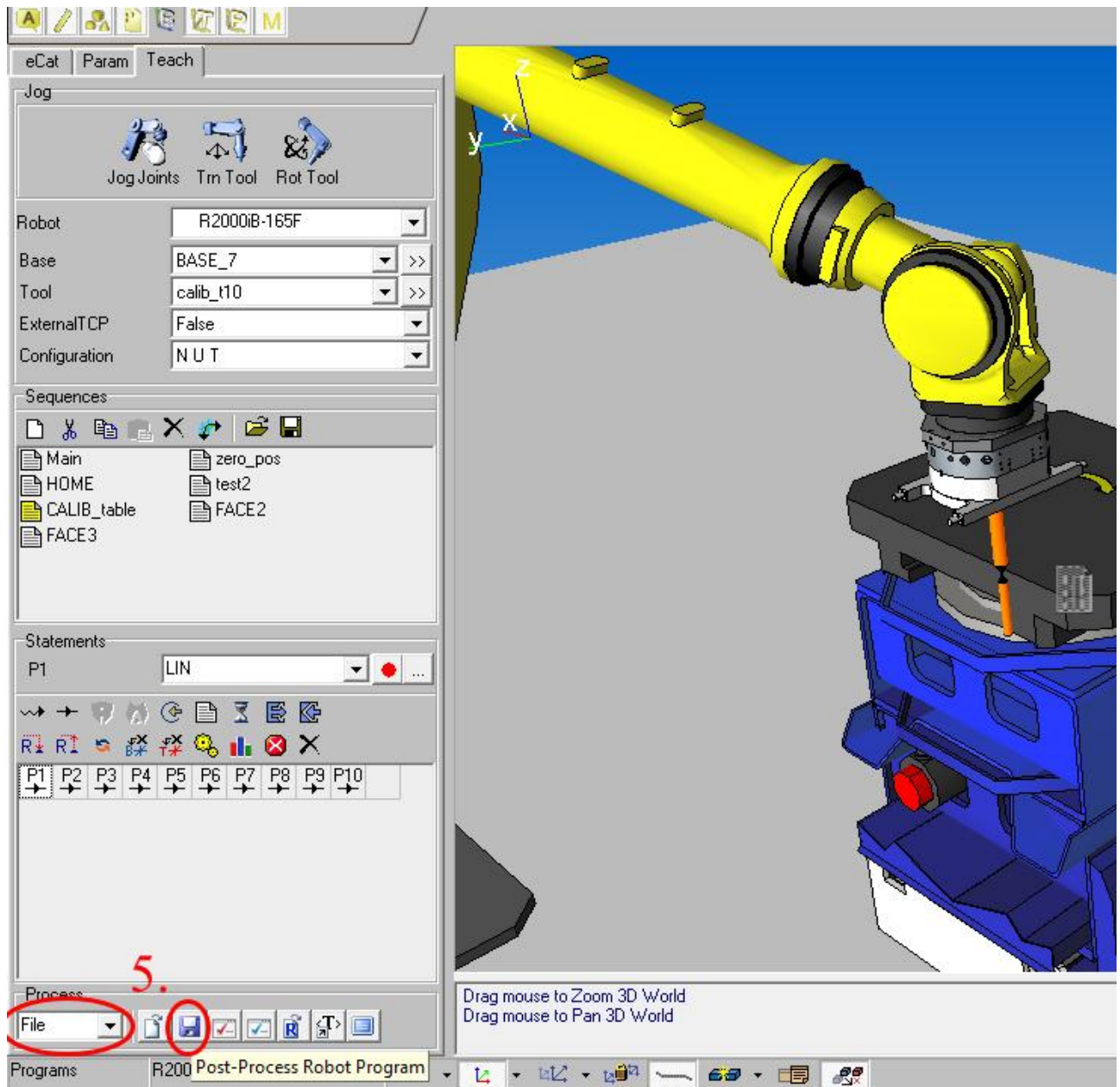
1. Avaa Fastsimussa välilehti **Teach**.
2. **Robot** alasetovalikosta valitaan solun robotti **R2000iB-165F**.
3. **Tool** valikosta valitaan työkaluksi **calib_t10**.

4. **Sequences** ikkunasta valitaan ohjelma **Calib_table**. Ohjelmassa on kymmenen paikoituspistettä, joissa kääntöpöytä kääntyy aina 36 astetta kerrallaan. Jokaisessa pisteessä kalibrointipiikkien kärjet ovat vastakkain.



5. Post-prosessoi ohjelma **Calib_table**. Vasemmassa alakulmassa **Process** valikko > **File** > **Post-Process Robot Program** (Levykkeen kuva). Valitse paikka mihin ohjelmat tallennetaan. Ohjelma prosessoi kaikki simulointimallin ohjelmat. Fastsimu prosessoi ohjelman tiedostomuotoon .LS, joten ohjelma joudutaan ajamaan kääntäjän läpi, jotta se saadaan muotoon jonka robotti osaa lukea (.TP). Valitse kansioista, mihin ohjelmat prosessoit, oh-

jelma **Calib_table** ja aja se kääntäjän läpi. Siirrä käännetty ohjelma robotille (esim. muistitikulla).



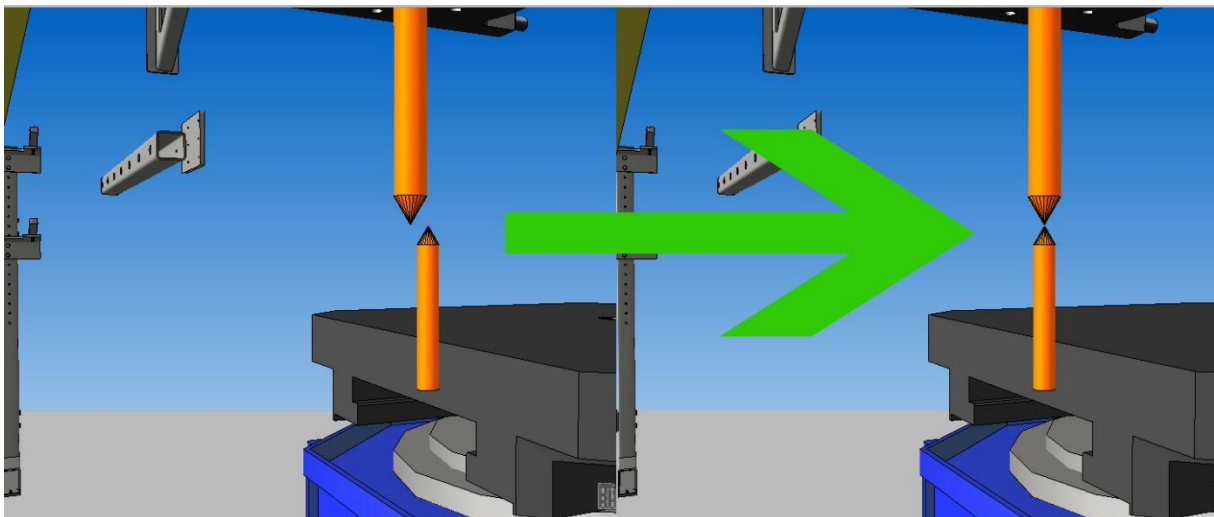
6. Kun ohjelma on siirretty robotille, se ajetaan läpi pienellä nopeudella **Step** toiminto päällä. Kaikissa paikoituspisteissä kalibrointi- ja kärjet tulee koskettaa toisiaan.

Jos kaikissa paikoituspisteissä kalibrointi-työkalujen kärjet ovat tarkasti vastakkain, pitävät simulointimallin mitat paikkansa. Joten jatko-toimenpiteitä ei aiheudu ja robotin etäohjelmointia voidaan jatkaa normaalisti tekemättä simulointimalliin muutoksia.

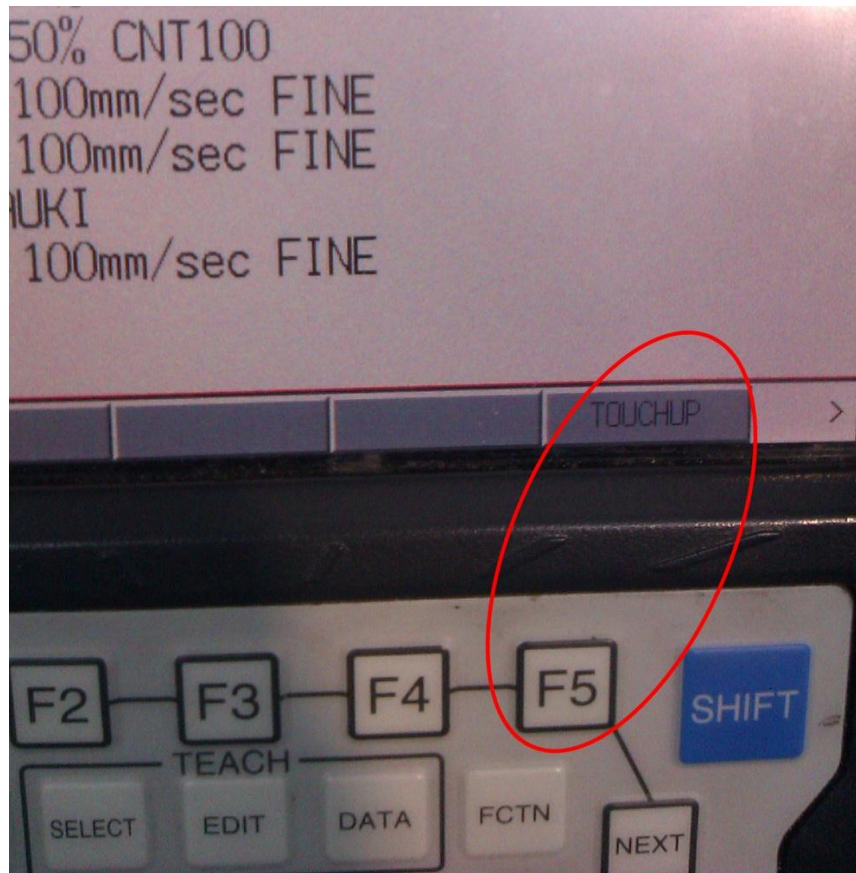
Korjaavat toimenpiteet

Mikäli kaikissa paikoituspisteissä kalibrointi-työkalujen kärjet eivät ole vastakkain, pitää seuraavat toimenpiteet suorittaa, jotta etäohjelmointia voidaan jatkaa ilman virheitä.

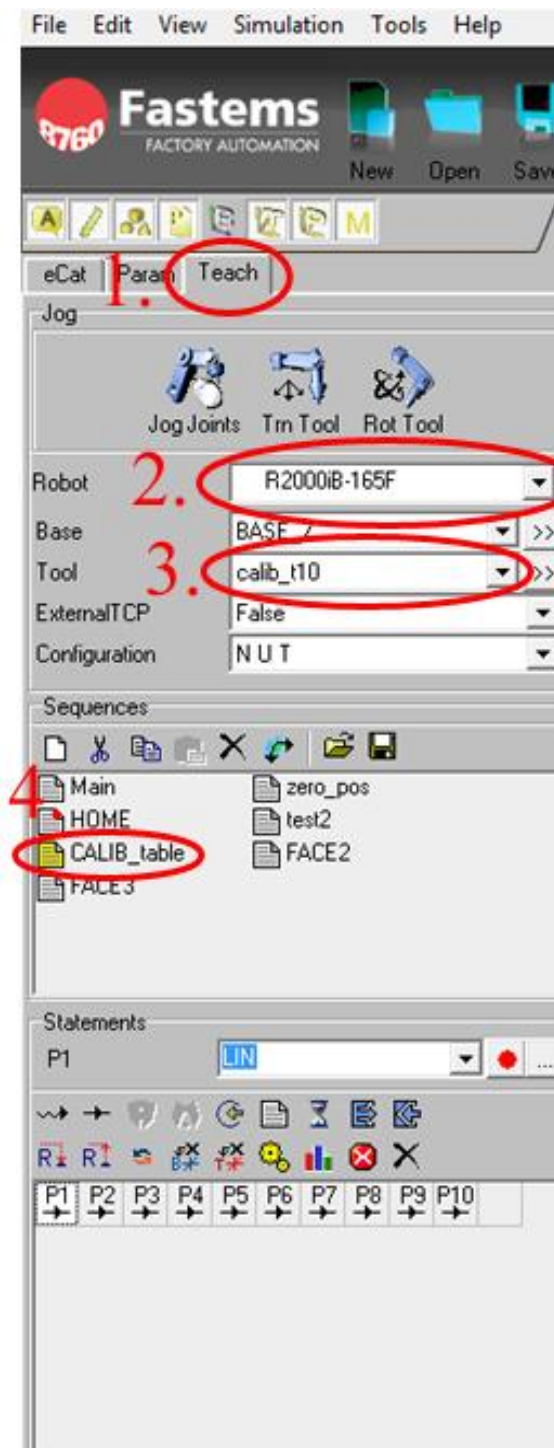
1. Aja ohjelma paikoituspisteeseen missä kalibrointi-työkalujen kärjet eivät ole vastakkain. Aja käsiohjauksella robotin ja pöydän kalibrointi-työkalujen kärjet vastakkain, kuitenkin muuttamatta pöydän asentoa.



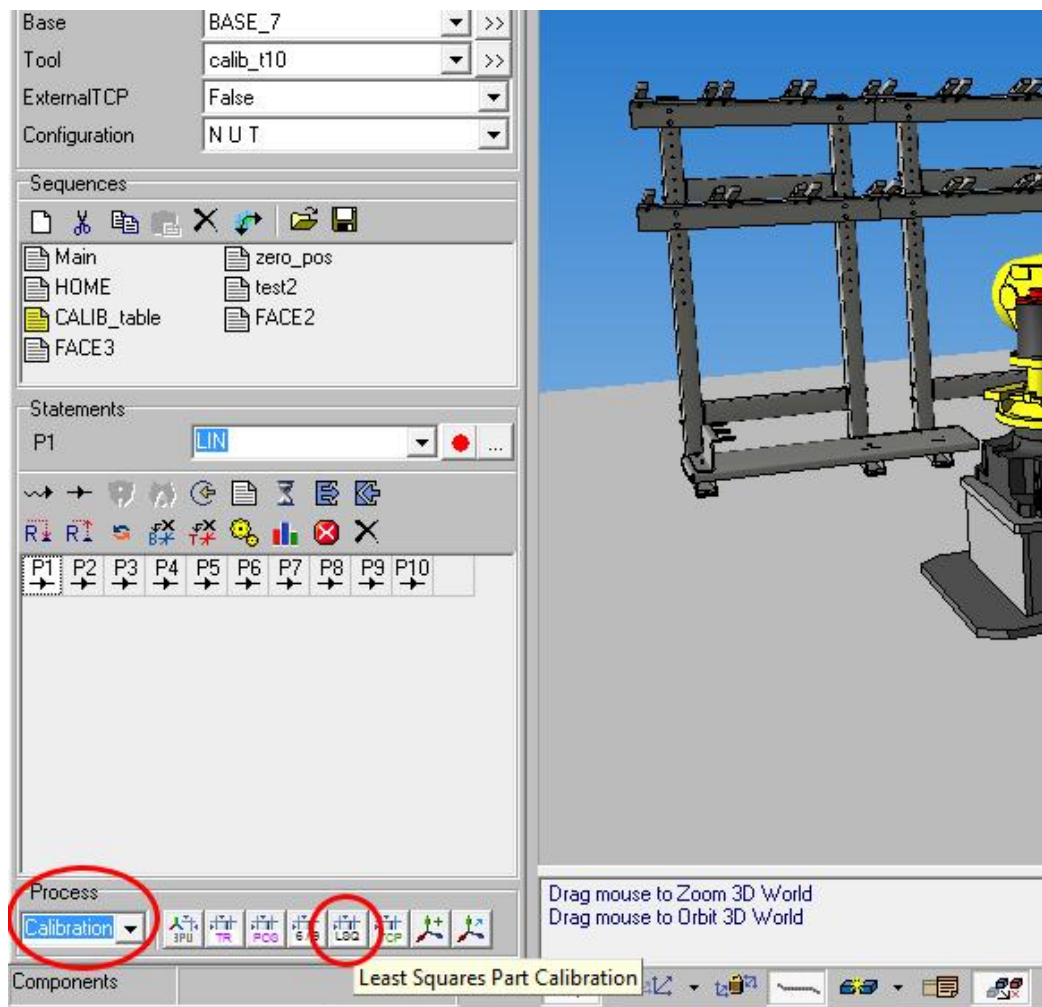
2. Opeta pisteelle uusipaikka painamalla **Touchup** painiketta (F5).



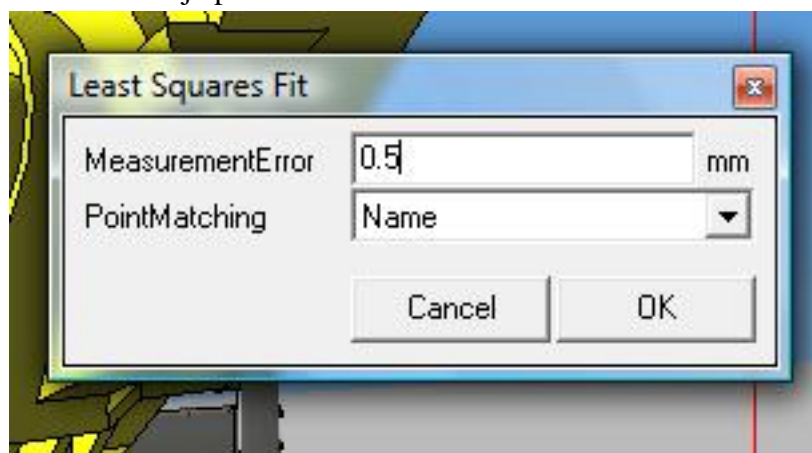
3. Aja vielä koko ohjelma läpi **Step** toiminto päällä. Nyt kaikissa pisteissä kalibroitipiikkien kärjet koskettavat toisiaan.
4. Siirrä ohjelma takaisin Fastsimuun .LS muodossa. Korvaa Fastsimussa olemassa oleva **Calib_table** ohjelma uudella robotilta tuodulla ohjelmalla.
5. Kalibroidaan pöydän paikka uudelleen. Vasemmassa reunassa **Teach** välilehden kentissä pitää olla samat asetukset kuin tarkistuksen alussa.



6. Valitse kääntöpöytä aktiiviseksi, pöydän ympärille ilmestyy laatikko. Valitse vasemmasta alakulmasta **Process** valikosta **Calibration** > **Least Squares Part Calibration**.



7. Avautuu ikkuna **Least Squares Fit**. Kohtaan **MeasurementError** annetaan arvo **0.5** ja painetaan **OK**.



8. Tallennetaan simulointimalli.

Kääntöpöydän paikka muuttuu robotilla opetettujen paikoituspisteiden mukaiseksi. Etäohjelmointia voidaan jatkaa normaalisti.

UUDEN TUOTTEEN LISÄÄMINEN SIMULOINTIMALLIIN

Aloitus

Tässä ohjeessa olevat toimenpiteet tulee suorittaa aina kun simulointimalliin tuodaan uusituote.

Uuden tuotteen lisääminen simulointimalliin etenee seuraavanlaisesti:

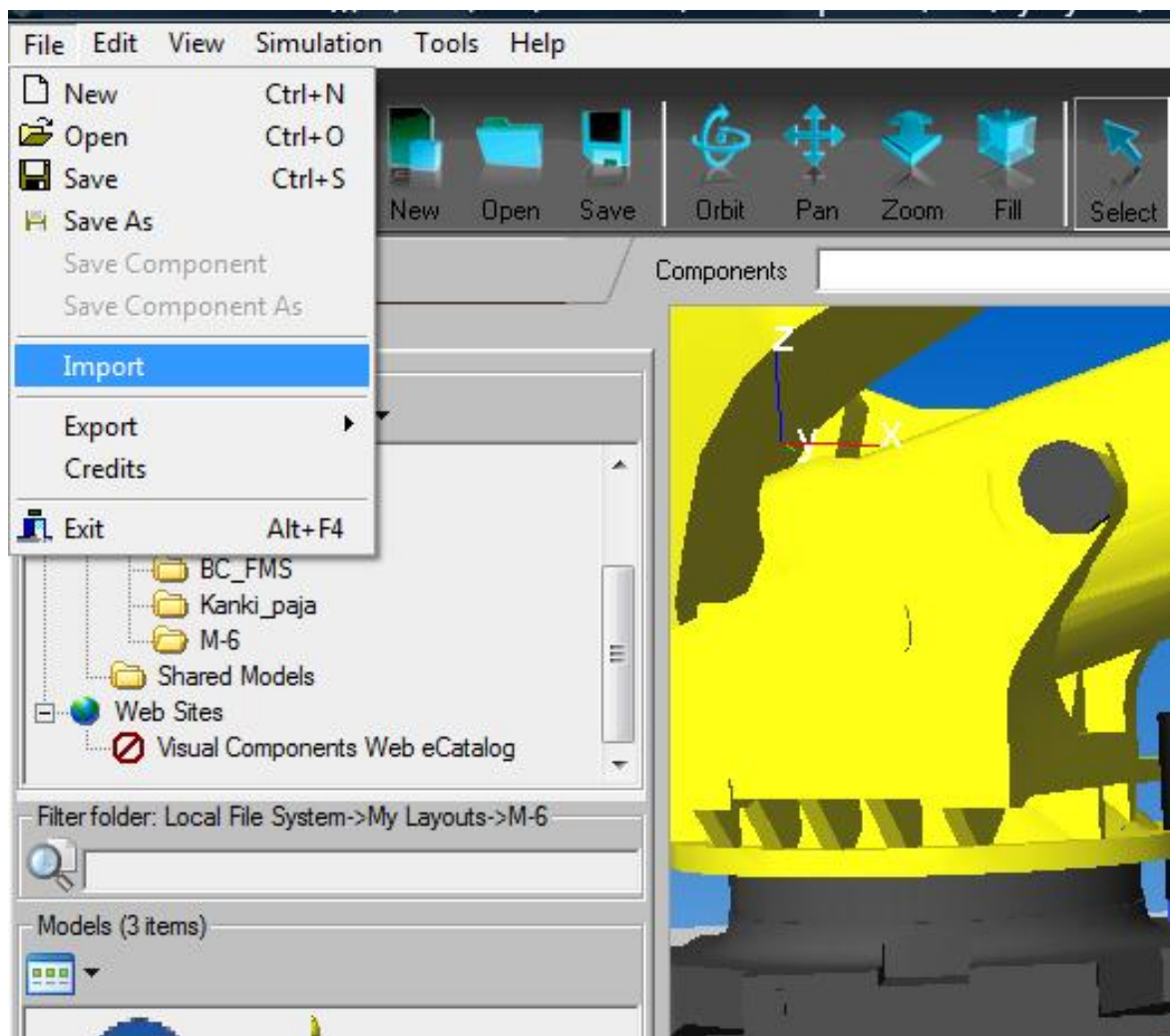
- Aluksi tuotantorobotin työkaluksi asetetaan kalibrointiipikki, tuodaan robottisoluun uuden tuotteen kiinnitin ja itse tuote.
- Ladataan kiinnittimen ja työstettävän kappaleen 3D-mallit Fast-simuun.
- Kalibroidaan kiinnittimen ja kappaleen paikat.
- Tarkistetaan kiinnittimen ja kappaleen paikoitus.

Tuotteen lisääminen

Kiinnittimen lisääminen

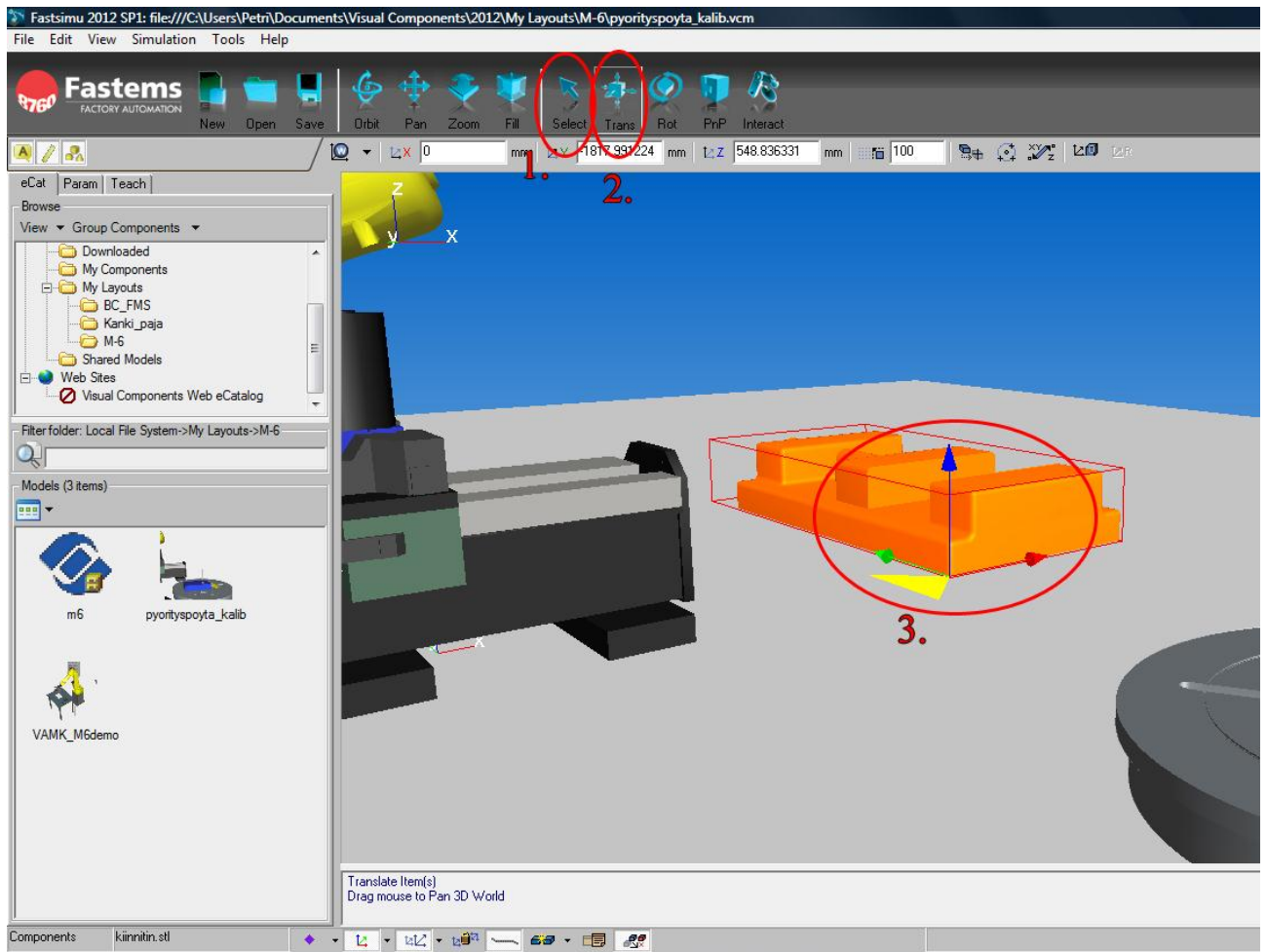
Aloitetaan tuomalla kiinnittimen 3D-malli simulointimalliin.

- Valitaan valikosta **File > Import** (Kuva1). Aukeaa ikkuna, josta valitaan kiinnittimen malli.



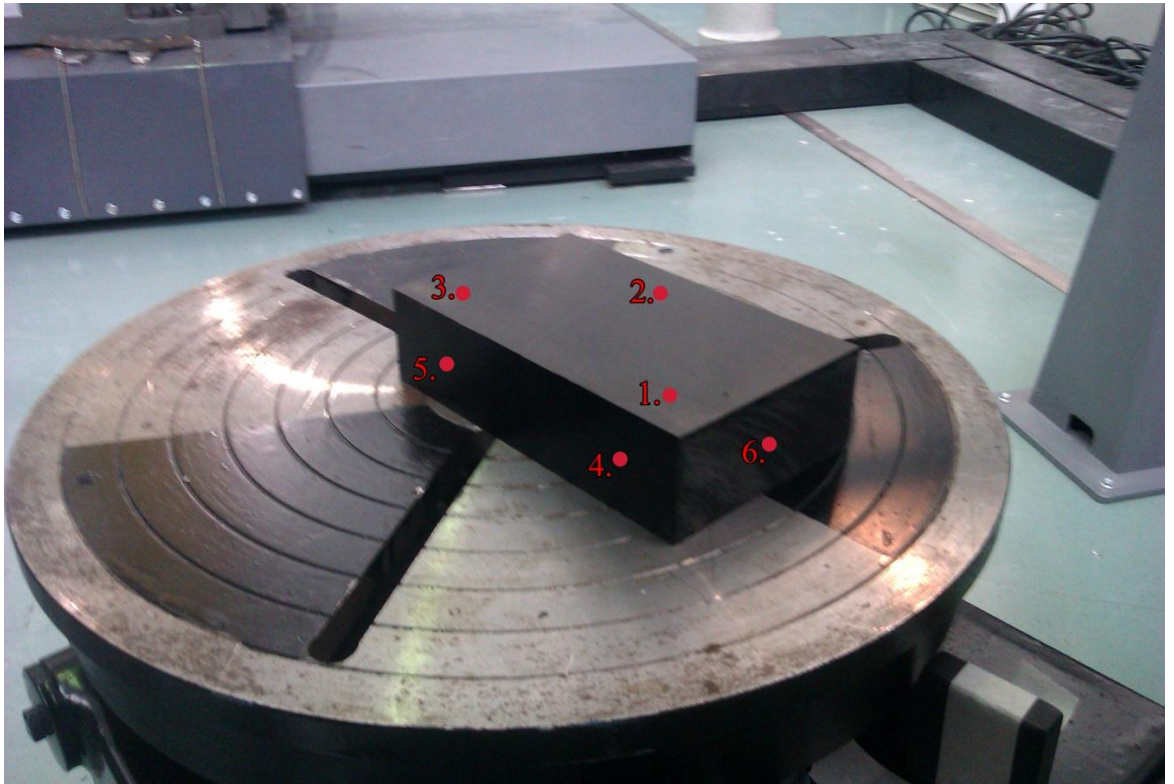
Kuva1. Kiinnittimen mallin tuominen simulointimalliin.

- Kiinnittimen 3D-malli paikoittuu simulointimallin maailman koordinaatiston keskipisteeseen. Siirretään kiinnitin suurin piirtein oikeaan paikkaan. Valitaan kiinnitin toiminnolla **Select**. Klikataan kiinnittimen mallia, valitaan työkalu **Trans**, siirretään mallia vetämällä malliin ilmestyvän koordinaatiston akseleista (Kuva2).



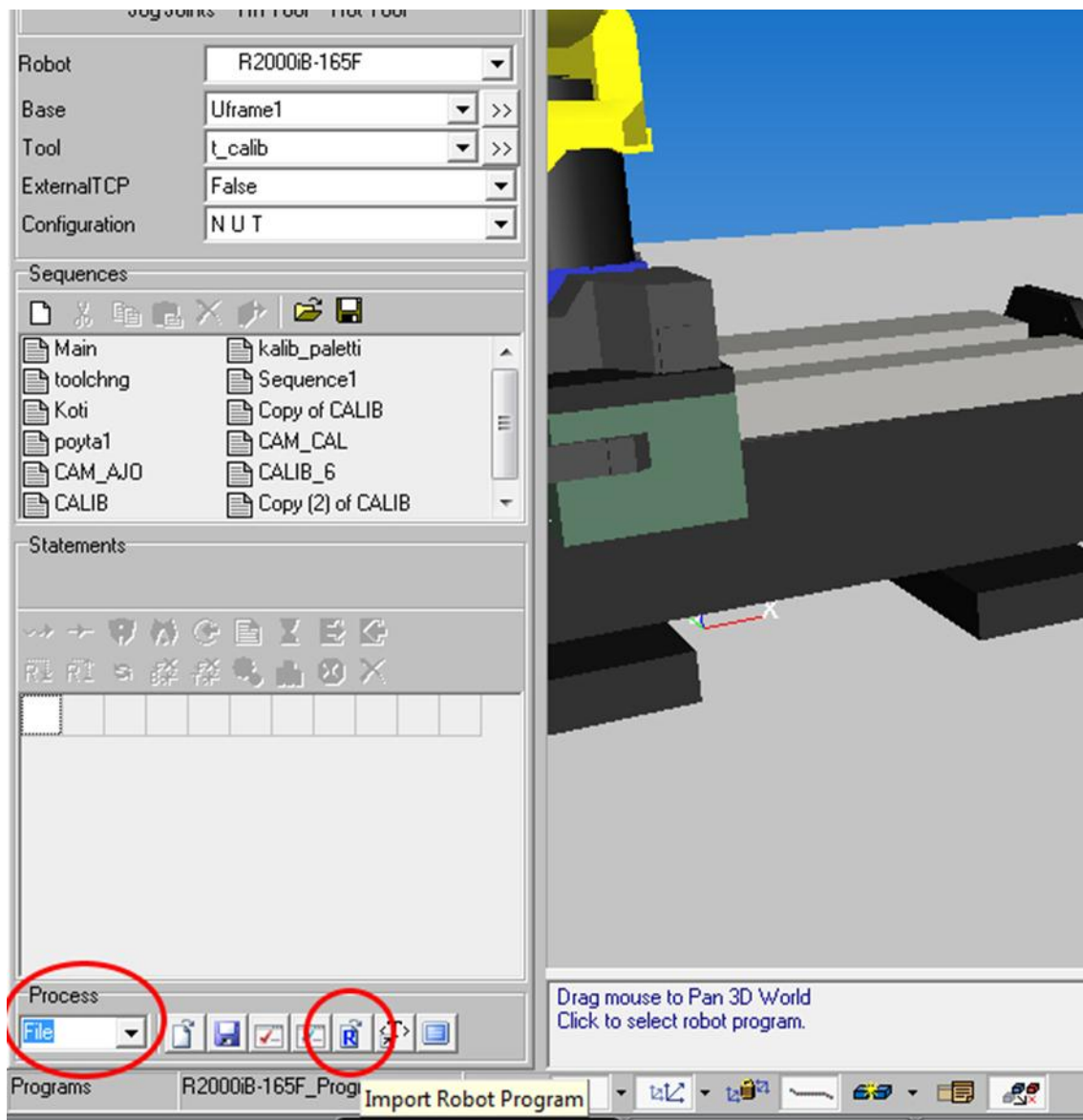
Kuva2. Kiinnittimen mallin siirto.

- Kalibroidaan kiinnittimen paikka vastaamaan todellisuutta. Robotilla tehdään ohjelma, jossa on 6 paikoituspistettä. Pisteet otetaan Kuvan 3 mukaisessa järjestyksessä. Kaikki pisteet otetaan kolmelta erisuuntaiselta tasolta. Ensimmäiset 3 pistettä otetaan kiinnittimen ylätasolta, seuraavat 2 pistettä otetaan kiinnittimen kyljestä ja viimeinen piste otetaan kiinnittimen päädystä. Kaikkien tasojen, joista paikoituspisteet on otettu, tulee olla yhtenäisiä suoria pintoja.



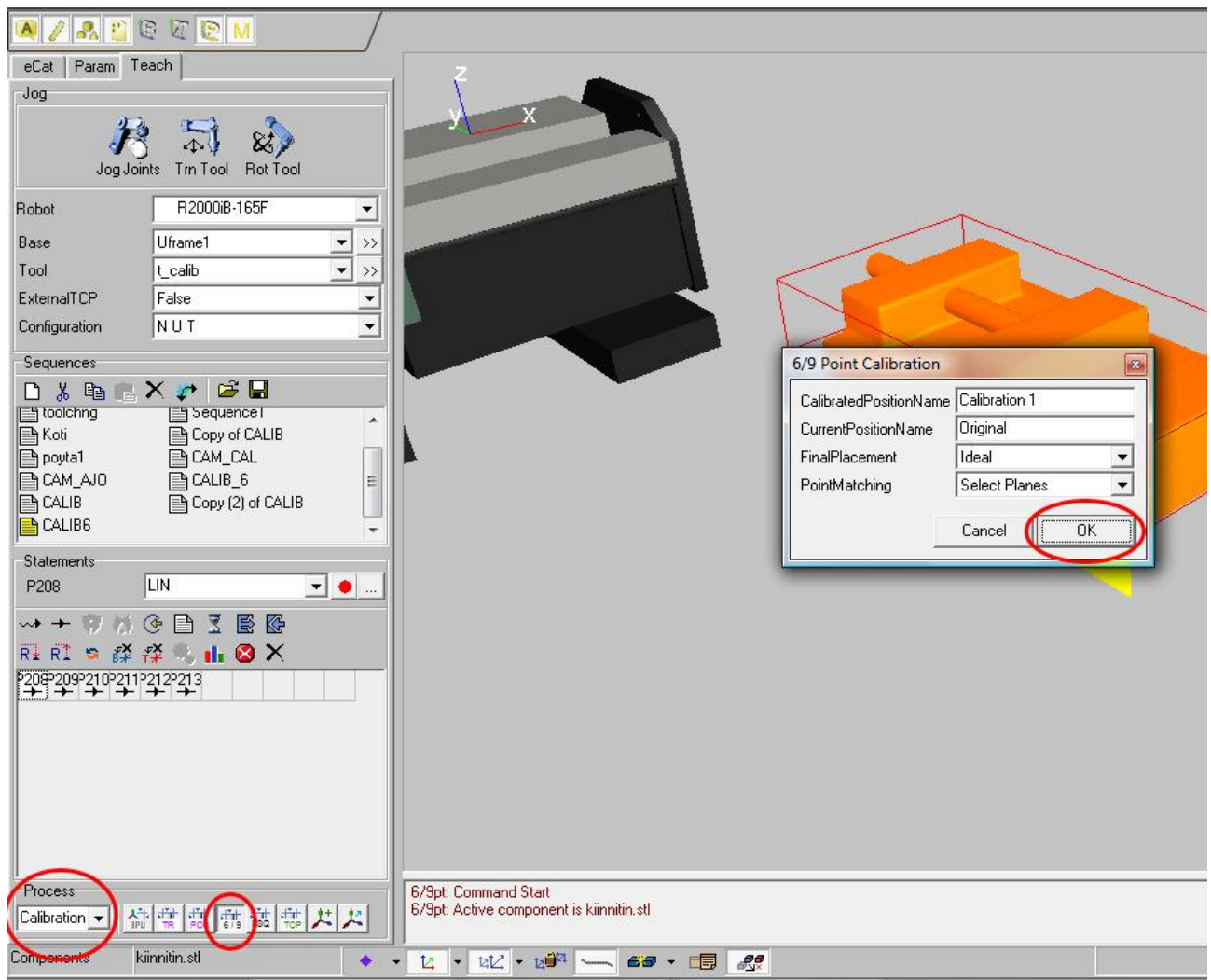
Kuva3. Kalibrintipisteiden järjestys.

- Tuodaan robotilla tehty ohjelma Fastsimuun. Valitaan vasemmasta alakulmasta valikko **Process > File** ja työkalu **Import Robot Program** (Kuva4). Ohjelma tulee *Teach* välilehdellä olevaan *Sequences* valikkoon. Valitaan tuotu ohjelma aktiiviseksi (ohjelman nimi keltaisena Sequences valikossa).



Kuva4. Robotti ohjelman tuonti simulointimalliin

- Valitaan yläpalkista työkalu **Select** ja klikataan kiinnittimen mallia. Kiinnittimen mallin ollessa aktiivinen valitaan vasemmasta alakulmasta **Process > Calibration** ja työkalu **6/9 Point Part Calibration**. Avautuu ikkuna *6/9 Point Calibration*, valitaan **OK** (Kuva5).



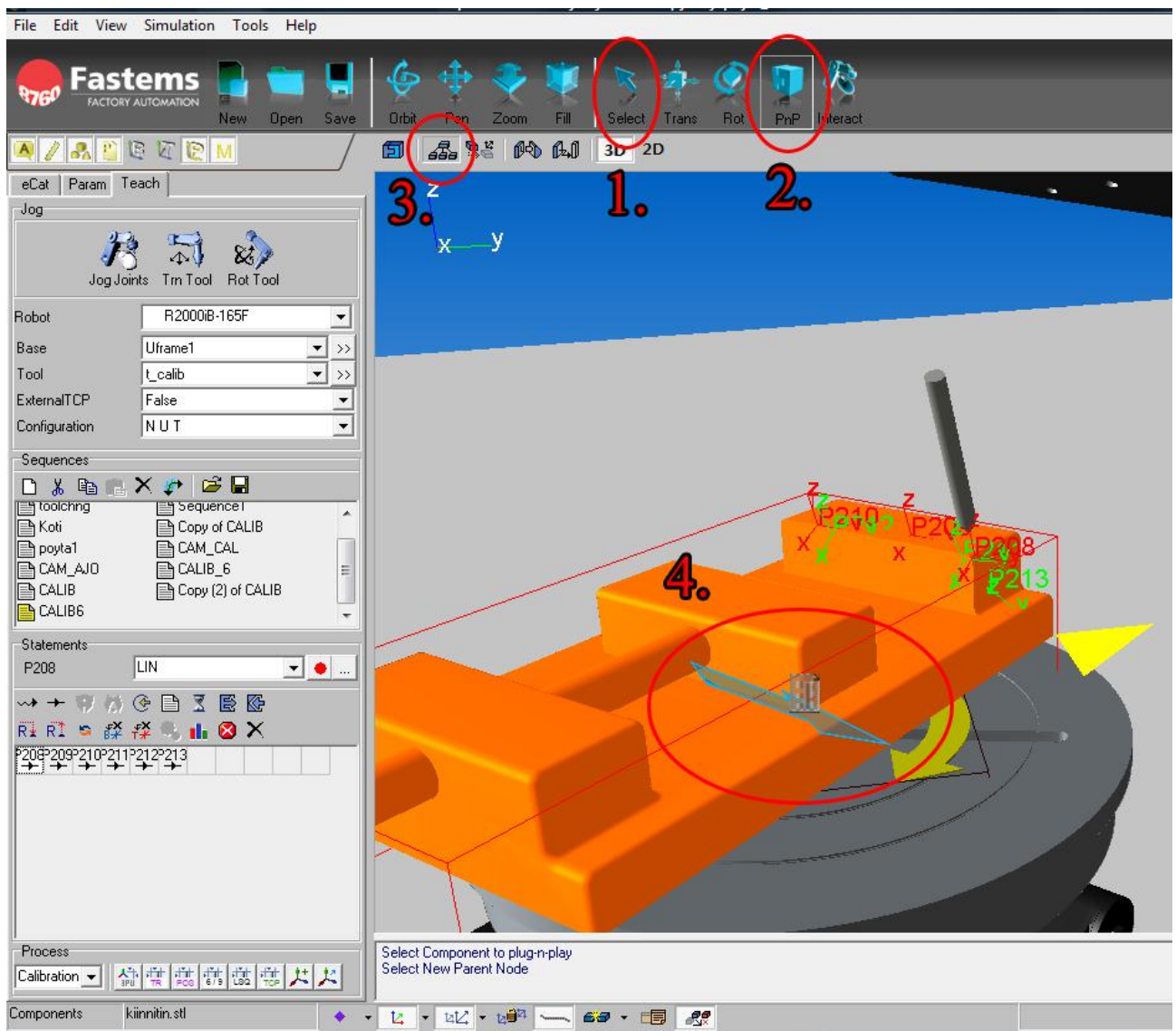
Kuva5. Kalibrointi ikkuna

- Valitaan tasot, joista ohjelman paikoituspisteet on opetettu, samassa järjestyksessä kuin ne opetettiin ohjelmaan. Simulointimallin alapuolella olevasta kommentti-ikkunasta nähdään mitä tasoa pitää klikata (Kuva6). Kun tasot on valittu, Fastsimu siirtää kiinnittimen mallin automaattisesti paikalleen.



Kuva6. Ohjelman haluaman tason poiminta (Klikataan tasoa, josta 3 pistettä on opetettu).

- Lopuksi vielä kiinnitetään kiinnittimen malli pyörityspöytään, jotta kiinnitin pyörii pyörityspöydän mukana. Valitaan kiinnittimen malli aktiiviseksi **Select** työkalulla, valitaan työkalu **PnP**, PnP valikossa valitaan **Parent** työkalu, klikataan pyörityspöytää. Ilmestyy sininen nuoli kappaleiden välille. Kiinnitin on kiinnitetty pyörityspöytään. Pyörityspöytää pyörittämällä kiinnitin liikkuu pöydän mukana.



Kuva 7. Kiinnittimen kiinnittäminen pyörityspöytään.

Tuotteen lisääminen

- Tuotteen lisääminen tehdään samalla tavalla kuin edellä kerrottu kiinnittimen lisääminen. Toistetaan edellä olevat vaiheet lisättävällä tuotteella, jotka ovat:
 - Kiinnitetään tuote kiinnittimeen tuotantorobottisolussa.
 - Opetetaan robotilla 6 pistettä.
 - Luotu ohjelma ladataan Fastsimuun.
 - Kalibroidaan tuote.
 - Fastsimussa ”liimataan” tuote kiinnittimeen.

Kalibroinnin verifiointi

- Tehdään Fastsimussa ohjelma, jossa esimerkiksi käydään koskettamassa tuotteen reunoja tai kulmia. Ohjelma siirretään robotille ja ajetaan läpi hitaalla nopeudella.