

Olli Hakala

4-Akselisen työstökoneen postproessorin ja konesimulointimallin luominen

Postproessori ja konesimulointimalli NX CAM ympäristössä

Opinnäytetyö

Kevät 2019

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja Tuotantotekniikka

Tekijä: Olli Hakala

Työn nimi: 4-Akselisen työstökoneen postprosessorin ja konesimulointimallin luominen

Ohjaaja: Samuel Suvanto

Vuosi: 2019

Sivumäärä: 42

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa postprosessori, nollapisteen siirto -aliohjelma ja täydellinen konesimulointimalli Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorion käyttöön. CNC-kone, joka valittiin tähän työhön, oli Kitamura HX500i vaakakarainen koneistuskeskus. Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorion koneistuskeskuksella ei ollut konesimulointimallia käytössä, kun tehtiin operaatioita NX CAM -ohjelmistolla. Simulointi tekee CAM-ohjelmoinnista huomattavasti helpompaa ja se vähentää törmäyksiä, kun käytetään oikeaa koneistuskeskusta, koska voidaan tarkastella jo etukäteen oikean työstökoneen liikeradat.

Nollapisteen siirto -aliohjelma vähentää aikaa ja työmäärää, kun täytyy kääntää neljättä akselia (B-akselia) ja jatkaa koneistusta eri kulmasta. Nollapisteen siirron ansiosta koneistus voidaan tehdä vain yhdellä nollapisteen määrittämisellä (G54), jota voidaan pyörittää, siirtää eri kulmaan tai asettaa eri kappaleeseen kuin alkuperäinen kappale. Tämä opinnäytetyö käsittelee koko työprosessin konesimulointimallin, postprosessorin ja nollapisteen siirron yhdistämiseksi yhdeksi kokonaisuudeksi.

Tämän opinnäytetyön tuloksena Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorio sai konesimulointimallin Kitamura HX500i:lle ja nollapisteen siirto -aliohjelman O0800-postprosessorilla. G-koodi testattiin aluksi simulointimallilla, minkä jälkeen nollapisteen siirto testattiin oikealla koneistuskeskuksella onnistuneesti.

Avainsanat: CNC-kone, CAM, simulointi, työstökone

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author/s: Olli Hakala

Title of thesis: Developing 4-Axis machining centre postprocessor and machine simulation model

Supervisor: Samuel Suvanto

Year: 2019

Number of pages: 42

Number of appendices: 0

The aim of the thesis was to provide a postprocessor, a coordinate rotation subprogram and a full machine simulation model to the machine laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. The CNC-machine, which was selected for the task, was a Kitamura HX500i horizontal machining centre. The machine laboratory at Seinäjoki University of Applied Sciences did not have a simulation model, when making programs to Kitamura horizontal machining centre with NX CAM. Simulation would make CAM-programming much easier and reduce collisions when operating the real machining centre, because the machine centre's motions could be checked in advance.

The coordinate rotation subprogram reduces time and work, when it is necessary to rotate the fourth axis (B-axis) and continue machining from a different angle. Because of the coordinate rotation, machining can be done with only one zero point definition (G54) which can be rotated, transferred to another angle or workpiece than the original workpiece. The thesis described the whole process when making the postprocessor, the simulation model, and the coordinate rotation, and combined them to an integrated solution.

As a result of the thesis the machine laboratory got a simulation model for Kitamura HX500i and a coordinate rotation subprogram O0800 with the postprocessor. G-code was tested with the simulation model, and after that the coordinate rotation was tested with a real machining centre with success.

Keywords: CNC-machine, CAM, simulation, machining centre

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Opinnäytetyön aihe	7
1.2 Työn tavoitteet.....	7
1.3 Yritysesittely.....	8
2 TEORIAA CAM-YMPÄRISTÖSTÄ SEKÄ TYÖSTÖKONEISTA.....	10
2.1 NC eli Numeric Control	10
2.2 NC-konetyypit.....	11
2.2.1 Jyrsinkoneet ja koneistuskeskukset	12
2.2.2 Sorvit ja sorvauskeskukset.....	13
2.3 Postprosessori	14
2.4 Post Builder.....	15
2.5 Postprosessorin alkuvaiheet	16
2.6 Postprosessorityypit	18
2.7 Post Builderin käyttö	18
2.8 Digitaalinen kaksonen	19
2.9 Rotaatiomatriisi	20
2.9.1 Ortogonaaliteettiehdot.....	20
2.9.2 Rotaatiomatriisit suuntakosinein	21
3 TYÖPROSESSI	22
3.1 Kitamura HX500i.....	22
3.2 Simulointimalli	23
3.3 Rakentaminen	25
3.4 Työstökeskuksen akseleiden tarkastus.....	28
3.5 Työkalujen luominen	30
3.6 Työkalun mallinnus ja paikoitus.....	31

4	POSTPROSESSORIMUOKKAUKSET	33
4.1	Postproessorin rakennus.....	33
4.2	Aliohjelma nollapisteen siirtoon.....	34
5	POST CONFIGURATOR	36
5.1	Vaihtoehtoinen työkalu postproessorin tekoon.....	36
5.2	Kouluttautuminen	36
6	TULOKSET	38
7	OMAT POHDINNAT.....	39
	LÄHTEET	41

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Jyrsinkone.....	11
Kuva 2. GROB G300	13
Kuva 3. Kitamura HX500i.....	23
Kuva 4. Akselirajat	29
Kuvio 1. Siemens PLM portfolio	9
Kuvio 2. Post Builderin perusnäkyä	15
Kuvio 3. Esimerkkikoodit.....	17
Kuvio 4. Pelkistetty työstökeskus	24
Kuvio 5. NX:n Ohjelmistomoduulit.....	26
Kuvio 6. Rakennepuu.....	27
Kuvio 7. Akseliliikkeet	28
Kuvio 8. Työkalut	30
Kuvio 9. Mallinnettu mittatyökalu.....	32
Kuvio 10. Post Configurator	37

Käytetyt termit ja lyhenteet

CAM	Computer Aided Manufacturing; tietokoneohjelmistolla avustettua työstöoperaatioiden ohjelmointia työstökoneille.
Digitaalinen kaksonen	Jonkin koneen, laitteiston tai tuotantolaitoksen täydellinen virtuaalinen malli, jolla voidaan simuloida ja tarkastella eri prosesseja.
FMS	Flexible Manufacturing System eli joustava valmistusjärjestelmä, joka on rakennettu automaattisesti toimivan varastoinnin ympärille.
G-koodi	Työstökoneen lukema ohjelmointikieli, jolla työstökoneetta ohjataan.
Konesimulointimalli	Varsinaisesta työstökoneesta tehty 3D-malli, jolla voidaan tarkastella työstöraatoja virtuaalisesti tietokoneelta käsin.
NC	Numerical Control eli numeerinen ohjaus, jolla työstökoneetta ohjataan.
NX	Siemensin kehittämä ohjelmistokokonaisuus, johon kuuluu muun muassa suunnittelu, työstöoperaatioiden ohjelmointi sekä lujuus- ja virtauslaskennat.
Postprosessori	Pieni ohjelma, joka muuttaa CAM-ohjelmistossa luodun työstöratakoodin työstökoneelle luettavaksi G-koodiksi.
TCL-koodi	Tulkattava ohjelmointikieli, joka luotiin yksinkertaiseksi, mutta hyvin tehokkaaksi ohjelmointikieleksi. Voidaan verrata muun muassa C-ohjelmointikieleen.
Työstökone	Kone, jolla voidaan muokata erilaisia kiinteitä materiaaleja erilaisilla materiaalia poistavilla menetelmillä. Tässä työssä mainitut työstökoneet poistavat materiaalia lastuavilla menetelmillä, esimerkkinä jyrsimet, sorvit ja porakoneet.

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön aihe

Tämän opinnäytetyön aiheena on 4-akselisen vaakakaraisen Kitamuran HX500i-työstökoneen postprosessorin sekä konesimulointimallin muokkaaminen. Konesimuloinnilla voidaan tarkastella työstökoneen käyttäytymistä sekä työstöoperaatioiden totuudenmukaisia liikkeitä tietokoneelta käsin, sillä virtuaalinen malli luodaan toimimaan samoin, kuin oikeakin työstökone toimii. CAM-ohjelmistona (Computer Aided Manufacturing), jolla työstöradat tullaan luomaan työstökoneelle, käytetään Siemensin NX-ohjelmistoa. NX-kokonaisuuteen kuuluu muun muassa suunnittelu, työstöohjelmointi sekä erilaiset lujuus- ja virtauslaskennalliset ominaisuudet, joista pääpaino kohdistuu työstöohjelmointipuoleen eli tutummin CAM-ohjelmointiin.

Työ toteutetaan Ideal Product Data Oy:n sekä Seinäjoen ammattikorkeakoulun kanssa yhteistyössä. Kyseessä oleva Kitamuran vaakakarainen työstökeskus sijaitsee Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa. Nykytilanteessa työstöohjelmia voidaan luoda NX-ohjelmistolla sekä postprosessoida nykyisellä postprosessorilla, mutta ominaisuuksista puuttuu nollapisteen siirtomahdollisuus. Lisäksi kyseisestä Kitamura HX500i -työstökeskuksesta ei ole konesimulointimallia, jolla työstötarkastelu voitaisiin suorittaa, kuten ei myöskään työkalukirjastoa, joka kulkisi konemallin mukana. Ilman työstön simulointia ei voida olla varmoja siitä, että työstökeskus tekee varmasti halutut liikkeet, eikä törmäyksiä pääse syntymään varsinaisessa työstössä.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on saada Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorion vaakakaraisessa koneistuskeskuksessa nollapisteen siirto sekä konesimulointimalli toimimaan. Tarkoituksena on perehtyä NX CAM:n sisällä olevaan Post Builder -ohjelmistoon, jossa postprosessorit luodaan ja muokataan toimimaan oikein. Post Builderin käyttö edellyttää TCL-koodin (Tool Command Language) hallintaa ja osaamista sekä tietysti eri työstökoneiden toimintaperiaatteiden osaamisen, mutta lisäksi

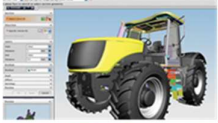




vielä eri ohjausten tuntemisen. Postprocessorin luojan täytyy siis hallita montaa eri osa-aluetta, jotta pystyy toimimaan työstökoneiden parissa sekä palvellakseen asiakasta mahdollisimman hyvin.

Toisena kokonaisuutena täytyy perehtyä NX-ohjelmiston sisällä olevaan Machine Tool Builderiin, jolla rakennetaan varsinainen digitaalinen kaksonen eli konesimulointimalli varsinaisesta työstökeskuksesta. Koneenosat voidaan mallintaa millä tahansa mallinnusohjelmalla ja siirtää NX:ään, jossa varsinaiset määitykset koneen toiminnan kannalta tehdään totuudenmukaisiksi.

1.3 Yritysesittely

IDEAL PLM on perustettu vuonna 1992, jolloin myös kumppanuus Siemens PLM:n kanssa on alkanut. Yrityksenä se on erikoistunut tuotteen elinkaaren hallintaan ja on myös kokonaisvaltainen ratkaisu- ja palveluntarjoaja. Tavoitteena on tehostaa PLM:n avulla digitalisaatiota ja luoda pitkiä strategisia kumppanuuksia asiakkaiden kanssa. Asiakkuuksia IDEAL PLM:llä on jo yli 500 ja se toimii myös yhteistyössä useiden oppilaitosten kanssa ympäri Suomen. (IDEAL PLM, [Viitattu 4.3.2019].)

IDEAL PLM tarjoaa asiakkaalle muun muassa digitaalisen kaksosen tuotteesta, tuotannosta ja suorituksesta, joka mahdollistaa suunnittelun analysoinnin ja simuloinnin tuotteista ja prosesseista digitaalisessa ympäristössä. Tämän avulla IDEAL PLM pystyy luomaan suljetun tuotekierto-PLM-ympäristön asiakkaan toiveiden mukaan. Toimenkuvaan kuuluvat lisäksi myös integraatiot, ohjelmistolisensoinnit, käyttökoulutukset sekä erilaiset tukitoimet asiakkuuksiin liittyen. Lisää yrityksen edustamia tuotteita voi havainnoida kuvioista 1. (IDEAL PLM, [Viitattu 4.3.2019].)

	NX	DIGITAL PRODUCT DEVELOPMENT <i>CAD-CAM-CAE Solutions</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Design & engineer better products faster...
	TECNOMATIX	DIGITAL MANUFACTURING <i>Production Planning Solutions</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Build & support products more efficiently...
	TEAMCENTER	DIGITAL LIFECYCLE MANAGEMENT <i>cPDM Solutions</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Collaborate & innovate more intelligently...
	SOLID EDGE	SOLID EDGE with Synchronous Technology <ul style="list-style-type: none"> ▪ Design better...
	FEMAP	FEMAP – Real FEA Made Easy <ul style="list-style-type: none"> ▪ Powering advanced engineering analysis...

Kuvio 1. Siemens PLM portfolio (IDEAL PLM ohje 2018).

Yrityksenä IDEAL PLM on toiminut jo 27 vuoden ajan ja rakentanut alan tietotaitoa yli sadan asiantuntijan voimin Suomessa sekä Venäjällä. Kumulatiivista osaamista on kertynyt kaiken kaikkiaan jo yli 800 vuotta. Toimistoja löytyy Vantaalta, Tampereelta, Seinäjoelta, Vaasasta, Oulusta sekä Venäjällä Pietarista. Yrityksenä pyritään prosessipainotteiseen työskentelytapaan, jossa parannetaan asiakkaan tuotantoprosesseja PLM:n avulla. (IDEAL PLM, [Viitattu 4.3.2019].)

2 TEORIAA CAM-YMPÄRISTÖSTÄ SEKÄ TYÖSTÖKONEISTA

2.1 NC eli Numeric Control

Työstökoneita voidaan kutsua numeerisesti ohjatuksi, jos se suorittaa kappaleen koneistamiseksi tekemänsä liikkeet automaattisesti. Kyseessä on siinä tapauksessa tehty ohjelma, joka ilmaisee koneen liikeradat numeroina. Tehty ohjelma voi siis olla käsin kirjoitettu, tai CAM-ohjelmalla laadittu postprosessoitu tiedostoformaatti. Suunniteltujen osien piirustuksissa on merkattu kappaleiden mitat numeroina ja valmiita kappaleita tutkitaan mittaamalla, joten numeerisesti ohjattu työstökone linkittää tuotantoketjun automaattisesti piirustusten, työstön ja valmiin kappaleen tarkastelun kesken. Numeerinen ohjaus on siis tärkeä tekijä työstön kannalta, jolloin tuotannossa saadaan säästöä vaivannäölle, ajalle sekä kustannuksille. Työstökoneiden ohjauksessa numeerinen ohjauksen käyttöönotto siis oli suuri kehitysaskel verrattuna aikaisempiin mekaanisiin nokka- ja käyräohjauksiin. Koko organisaation kannalta numeerinen ohjaus on huomattavasti enemmän kuin pelkkä työstökone, sillä se on enemmänkin laaja sisäisten tietojen käsittelyn ja hyödyntämisen ketju. Kuitenkin täytyy muistaa, ettei numeerisesti ohjattuja työstökoneita sekoiteta numeerisilla näytöillä varustettuihin manuaalisiin työstökoneisiin, joita myös vielä jonkin verran käytetään. Sellaisissa koneissa tarkastellaan vain liikuttavia matkoja numeeriselta näytöltä, eikä itse liikuttaminen tapahdu numeerisen ohjauksen kautta, eikä se ole myöskään automatisoitua. Jyrsinkone on kuvassa 2. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 11-12.)



Kuva 1. Jyrsinkone (2019).

2.2 NC-konetyypit

Nykyäänä teollisuudessa sekä kotitalouksissa ihan normaalissa arkielämässä on huomattava määrä laitteita ja koneita, jotka perustuvat matkatiedon automaattiseen käsittelyyn. Niissä tapauksissa puhutaan numeerisesta ohjauksesta, jossa kuljet-tava matka ilmaistaan useimmiten digitaalisessa muodossa erilaisilla koodausme-netelmillä ja tavoilla. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 25.)

2.2.1 Jyrsinkoneet ja koneistuskeskukset

Alun perin kehitys on lähtenyt käyntiin jyrsinnän tarpeista, jolloin automaattiset luis-tien ajot saatiin toteutettua kahdella akselilla ilman lastuamisvoimia, mikä mahdol-listi porakoneiden syntymän. NC-porakoneissa työkalu voidaan paikoittaa numeerisesti, mutta itse porausliikettä ohjataan koneen rajakytkimillä. NC-jyrsinkoneissa on jo yksi akseli lisää, eli kyseessä on kolmen akselin numeerinen ohjaus, mutta työkalunvaihto tapahtuu kuitenkin vielä käsin manuaalisesti. Vasta kun jyrsinkoneisiin lisättiin automaattinen työkalunvaihto, niistä kehittyi lähinnä pystykaraisia koneistuskeskuksia ja vastaisesti perinteisistä avarruskoneista kehittyi vaakakaraisia koneistuskeskuksia. Tyypillistä koneistuskeskuksille on siis automaattiset työkalunvaihdot ja työkalumakasiini sekä vähintään kolmen akselin yhtäaikainen numeerinen ohjaus. Nykypäivänä siis suurin osa poraus- ja jyrsintätöistä toteutetaan koneistuskeskuksilla ja vanhat NC-koneet ovat historian havinaa. Keskuksista saadaan monipuolisempia lisäämällä esimerkiksi erilaisia pyöröpöytiä ja paletinvaihtajia, joilla voidaan sujuvasti varastoida valmistettavia kappaleita erilaisille palettiradoille valmistusjärjestelmiin, kuten vaikkapa FMS-järjestelmään. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 25.)

Koneistuskeskuksilla voidaan muun muassa jyrsiä, porata, väljentää/kalvia, upottaa, avartaa ja kierteittää. Etuna keskuksissa siis on ympyränkaari-interpolointi, jolla voidaan toteuttaa erikokoisten pyöreiden muotojen työstöoperaatiot sekä samanaikaiset kolmen akselin ajot. Lisänä koneistuskeskuksissa voi olla tietysti erilaisia kulmapäitä tai pyöriviä akseleita, jolloin puhutaan 5-akselisesta koneituksesta, joka taas mahdollistaa huomattavasti monipuolisemman työstön. Jyrsinkeskus näkyy kuvassa 3. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 27.)



Kuva 2. GROB G300. (GROB-WERKE GmbH & Co. KG 2019.)

2.2.2 Sorvit ja sorvauskeskukset

Sorvipuolella taas kehitys on ollut aluksi vain kahdelle luistille numeerisena. Työkalut ovat järjestettynä revolvereihin, kuten revolverisorveissa yleensäkin. Tällä tyylillä siis voitiin ohjelmoida ja koneistaa normaaleja sorvauskappaleita numeerisesti ohjattuna. Useimmiten kuitenkin huomattiin kappaleissa olevan paljon poraus- ja jrsintöitä, minkä vuoksi suurin osa kappaleista menikin sorvauksen jälkeen porakoneille tai jrsinkoneilla, jossa niille suoritettiin porauksia, kierteityksiä ja jrsintöjä. Tämän vuoksi sorveihin kehitettiin pyörivät työkalut, jolloin alkunsa saivat sorvauskeskukset. Sorvauskeskuksissa suurin osa kappaleista saatiin valmiiksi kerralla samassa koneessa. Varsinaiset sorvauskarat voidaan siis pysäyttää, kun käytetään pyöriviä työkaluja koneistukseen. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 27.)

Neliakseliset sorvit taas ovat sorveja, joissa on kaksi tai useampi revolveri. Jos molemmilla revolvereilla on sekä pitkittäis- että poikittaisliike, niillä voidaan koneistaa

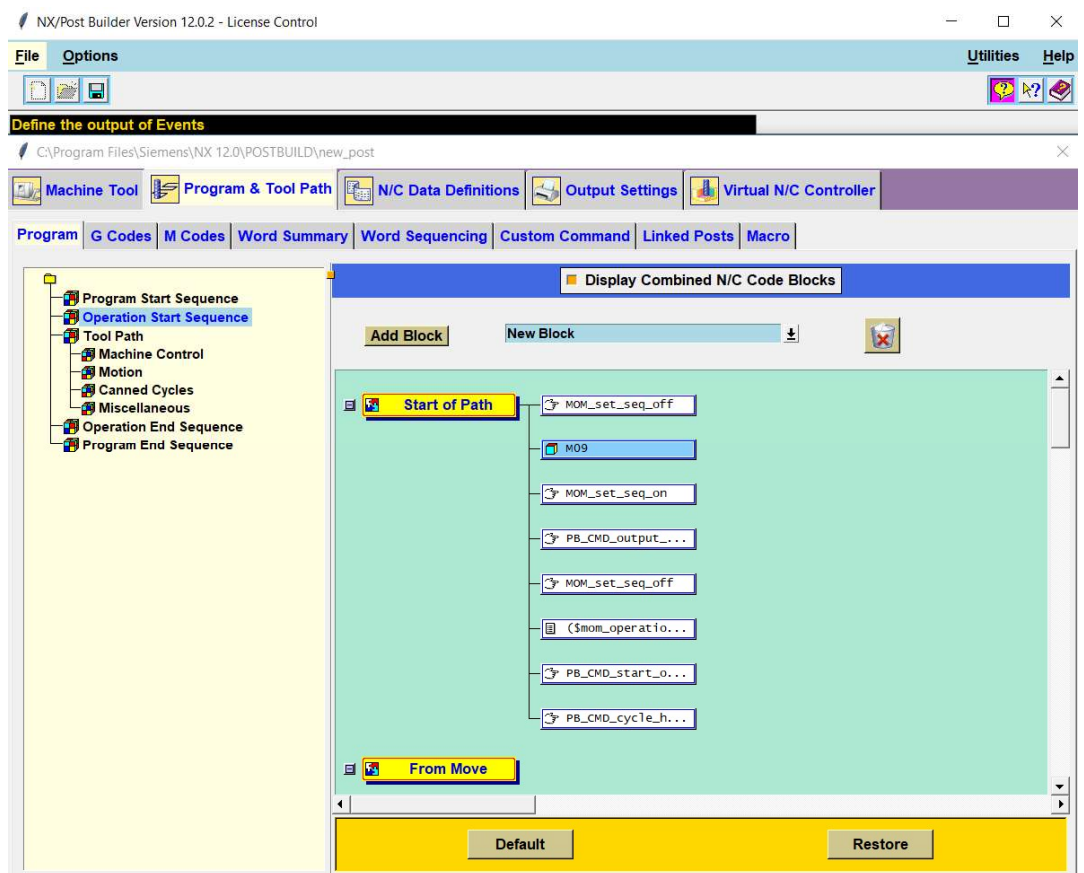
yhtä aikaa, mikäli työstökoneen ohjaus sallii sen. Käännettävät kappaleet aiheuttivat uusia ongelmia sorvipuolella. Jos kappale täytyy kääntää, asettaa se lisävaatimuksia kappaleenvaihtajille. Valmiiksi sorvattu kappale siis otetaan pois ja käännetään kappaleen toisen puolen viimeistelyä varten. Kappaleita piti siis joskus välivarastoida sarjatuotannossa, mikä aiheutti lisähankaluuksia. Kun ongelmaan alettiin perehtyä tarkemmin, syntyivät kaksikaraiset sorvit. Kaksikaraisessa sorvissa on vastakkain kaksi karaa, pääkara ja apukara, joskus puhutaan myös vastakarasta. Vastakaralla siis voidaan ajaa toiseen päähän ja tarttua pääkaralla valmiiksi sorvattuun kappaleeseen, minkä jälkeen vastakaran ja pääkaran kierrosnopeudet synkronoidaan ja katkaisuterä katkaisee kappaleen, jolloin vastakara voidaan palauttaa omaan päähänsä puolivalmiin kappaleen kanssa ja suorittaa tarvittavat työstöoperaatiot kappaleen toiselle puolelle. Useimmiten sarjatuotannossa sorveihin myös liitetään tangonsyöttölaitteita ja robotinomaisia kappaleenvaihtajia, joilla voidaan automatisoida lisää työstöoperaatiota. Kappaleiden poistamista varten taas on erilaisia kouruja ja kaappareita, joihin valmiit kappaleet putoavat tai siirtyvät. Lastut taas poistetaan automaattisesti sorvin pohjassa sijaitsevalla pohjakuljettimella ulkopuoliseen laatikkoon, josta ne voidaan uudelleen kierrättää. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 27-29.)

2.3 Postprosessori

Postprosessori kulkee CAM-ympäristössä luodun työstöohjelman mukana käsi kädessä. Käytännössä se on pieni ohjelma, joka muuttaa CAM-ohjelmistossa luodut työstöradat työstökoneelle luettavaksi G-koodiksi (katso termit ja lyhenteet), joten se siis toimii niin sanotusti kääntäjänä. Kuitenkin pelkkä kääntäminen työstöradoista koodiksi ei riitä, sillä työstökoneissa on useita erilaisia ohjaustyyppisiä, joilla ne toimivat. Varsinkin pyörivien akseleiden kanssa useimmiten joudutaan räätälöimään postprosessoria hyvinkin paljon. Postprosessori itsessään on vain pelkkä tekstitiedosto, mutta koneen toimivuus ja turvallisuus on sen toimivuudesta kiinni. (IDEAL PLM ohje 2019.)

2.4 Post Builder

NX:n laitekokonaisuuteen kuuluu myös postprocessorityökalu. Kyseinen työkalu on nimeltään Post Builder ja se on avoin käyttää kaikille, joilla on kyseiseen ohjelmistoon tarvittavat lisenssit hankittuna. Post Builderin peruskäyttö onnistuu useimmiten melkein keneltä tahansa, jolla on kokemusta ja tietoa NC-koneiden käytöstä ja ohjelmoinnista. Perustoiminnot ovat niin sanotusti objektien siirtelyä oikeille paikoille sekä niiden lisäämistä ja poistamista ohjelmistoympäristössä. Tällainen perustoiminta ei vie myöskään paljoa aikaa, ei tuota ongelmia ja on niin sanottua helppoa muokata postprocessorimaailmassa siihen asti, kunnes koneiden akselilukumäärä kasvaa. Useimmiten moniakselikoneilla valmistetaan vaikeita kappaleita, joten se johtaa siihen, että koneen käyttökapasiteetti laitetaan äärimmilleen ja toiminta hioetaan huippuunsa. Post Builderin perusnäkökuvan näkee kuvasta 4. (IDEAL PLM ohje 2019.)



Kuvio 2. Post Builderin perusnäkökuva (Post Builder 2019).

Asiakkaalla saattaa olla omia tapojaan, kuinka työstökoneita ollaan käytetty, ennen kuin on otettu NX-ohjelmisto käyttöön, joten samoja tapoja halutaan tietysti jatkaa uudellakin ohjelmistolla, mikäli ne ovat hyväksi todetut. Tällaisia tilanteita voidaan ratkoa esimerkiksi niin, että koko postprosessori tehdään asiakkaan haluamalla tavalla tai ehdotetaan omasta kokemuksesta löytyviä kompromisseja. Joissain tapauksessa asiakas on huomannut, että uudella ohjelmointitavalla saadaan hyötyä sekä tuottavuutta lisää tuotantoon ja uutta tapaa halutaan alkaa soveltamaan yrityksen käyttöön sopivaksi. Toisaalta löytyy myös monia kohteita, joissa yksinkertaisesti ei ole muita vaihtoehtoja kuin vanhat tavat ja opetellut prosessit, joten uusia tapoja on turha lähteä edes yrittämään tuotantoon. (IDEAL PLM ohje 2019.)

2.5 Postprosessorin alkuvaiheet

Koko postprosessorin rakennusurakka lähtee liikkeelle siitä, että asiakkaan luonnetaan paikan päälle. Kaikki tällä hetkellä IDEAL PLM:n tekemät postprosessorit luodaan asiakkaalla työstökoneen ääressä, jolloin koko ajan pystytään olemaan yhteydessä koneenkäyttäjiin. Asiakkaan luona työskennellessä on myös helpompaa vastata heidän toiveisiinsa ja kysymyksiinsä, mutta tärkeintä on, että koko konetta voidaan testiajaa samanaikaisesti. Tällä tyylillä saadaan huomattavasti enemmän aikaa kuin esimerkiksi etätyöskentelyllä. Etätyöskentely onnistuu jälkepäin pienten korjauksien parissa, koska usein tällaiset korjaukset ovat vain pieniä yksittäisiä muutoksia tai lisäyksiä koodiin.

Itse koneella aluksi on tärkeää selvittää, kuinka koko työstökeskusta käytetään ja minkälaisia osia tuotetaan/halutaan tuottaa jatkossa. Useimmiten pieni esittelykierros yrityksessä antaa hyvän yleiskuvan siitä, kuinka asiat tehdään, minkäkokoisia kappaleita tuotetaan ja jos valmistetaan suuria määriä, niin minkäkokoisia sarjoja valmistetaan. Tämän jälkeen helpointa on kysyä toimiva koneella ajettu ohjelma eli G-koodista rakentuva tekstitiedosto, jota tutkimalla pääsee alkuun postprosessorin rakennuksessa. Eri koneenohjaukset käyttävät erilaisia käskyjä, joten käytännössä on mahdotonta osata jokaista eri käskyä ulkoa, eikä siitä suurta hyötyä löytyisi, koska ohjaukset löytyvät kuitenkin koneiden manuaaleista ja tietysti suurin osa

myös internetistä. Esimerkkikoodi postprosessoituna samasta operaatiosta Siemens 840D- ja LinuxCNC-ohjaukselle löytyy kuvasta 5. (IDEAL PLM ohje 2019.)

<pre> 1 N10 ;Start of Program 2 N20 ; 3 N30 DEF REAL _camtolerance 4 N40 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME, _A_HOME, _C_HOME 5 N50 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT 6 N60 ; 7 N70 G40 G17 G710 G94 G90 G60 G601 FNORM 8 N80 ;Start of Path 9 N90 _camtolerance=.03 10 N100 _X_HOME=0.0 _Y_HOME=0.0 _Z_HOME=0.0 11 N110 _A_HOME=0 _C_HOME=0 12 N120 ; 13 N130 ;Operation : MULTI_BLADE_ROUGH 14 N140 ; 15 N150 TRAF00F 16 N160 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0 17 N170 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME A=_A_HOME C=_C_HOME D23 18 N180 ;First Tool 19 N190 T="T_23BALL_MILL_3MM_CARROT_D12" 20 N200 M6 21 N210 MSG("MILL_SEMI_FINISH") 22 N220 TRAF00F 23 N230 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0 24 N240 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME A=_A_HOME C=_C_HOME D23 25 N250 ;Initial Move 26 N260 G0 A66.561 C122.941 27 N270 COMPOF 28 N280 CYCLE832(_camtolerance,0,1) 29 N290 TRAORI 30 N300 G54 31 N310 G0 X-43.662 Y60.238 Z13.294 S5500 D23 M3 32 N320 ;Approach Move 33 N330 X-18.226 Y20.981 Z-6.986 34 N340 ;Engage Move 35 N350 G1 X-18.09 Y20.831 Z-7.059 M8 F550. 36 N360 X-17.911 Y20.719 Z-7.101 37 N370 X-17.708 Y20.647 Z-7.109 </pre>	<pre> 1 % 2 G40 G17 G90 G49 G21 3 (MULTI_BLADE_ROUGH) 4 (-----) 5 (Operation name: MULTI_BLADE_ROUGH) 6 (-----) 7 G64 P0.0300 8 G91 G20 Z0.0 9 G91 G28 X0.0 Y0.0 10 (-----) 11 (Tool name: T_23BALL_MILL_3MM_CARROT_D12) 12 (Tool Number: T23) 13 (-----) 14 T23 M06 15 M01 16 G90 G54 17 S5500 M03 18 M101 19 G00 X-43.662 Y60.238 20 G43 H23 21 M128 22 C122.941 23 Z13.294 B66.561 24 G94 G90 25 X-18.226 Y20.981 Z-6.986 26 G01 X-18.09 Y20.831 Z-7.059 F550. 27 X-17.911 Y20.719 Z-7.101 28 X-17.708 Y20.647 Z-7.109 29 X-17.497 Y20.614 Z-7.085 30 X-17.286 Y20.61 Z-7.036 31 X-17.082 Y20.629 Z-6.97 32 X-16.884 Y20.665 Z-6.891 33 X-16.694 Y20.714 Z-6.802 34 X-16.51 Y20.774 Z-6.706 35 X-16.338 Y20.834 Z-6.611 B66.559 C122.936 36 X-15.946 Y20.972 Z-6.39 B66.555 C122.928 37 X-15.556 Y21.106 Z-6.166 B66.552 C122.92 38 X-15.147 Y21.248 Z-5.925 B66.548 C122.914 </pre>
---	---

Kuvio 3. Esimerkkikoodit (Notepad++ 2019).

Kun alkumuokkaukset uuteen postprosessoriin on tehty ja G-koodi on muokattu niin, että ohjelma postprosessoituu suurin piirtein samoin kuin vanhoissa ajetuissa ohjelmissa, voidaan ensimmäiset testiajot suorittaa varovaisesti niin sanottuna ilmaajona koneella. Uuden koodin ei välttämättä tarvitse olla aivan täysin samanlaista kuin vanhan, koska osa käskyistä toimii, vaikka ne olisivatkin eri kohdissa. Kuitenkin täytyy olla todella tarkkana ja postprossessorin tekijän tietää, mitä on tekemässä, sillä tietyt käskyt on pakko suorittaa ennen toisia. Tämän vuoksi koodin järjestyksen muokkaamisessa on aina omat riskinsä, eikä sitä saa harkitsematta mennä muokkaamaan. Esimerkiksi jos vaihdetaan G91 G28 Z0.0 -käsky G91 G28 X0.0 Y0.0 -käskyn jälkeen, työstökone ajaisi X- ja Y-akselit ensimmäisenä kotiin ja vasta sen jälkeen kara-akselin, jolloin kara saattaisi törmätä pahimmassa tapauksessa kappaleeseen tai kiinnittimiin. Toisena esimerkkinä voidaan ottaa G43 H23 -käskyn siirtäminen myöhemmäksi, mikä taas aiheuttaisi työkalunpituuskompensoinnin lähtevän vasta akseleiden liikuttamisen jälkeen päälle, jolloin Z-akselia ajettaessa työkalua ei otettaisi huomioon, vaan karan otsapinta ajettaisiin pahimmassa tapauksessa kappaleeseen kiinni. (IDEAL PLM ohje 2019.)

2.6 Postprossesityypit

Kun aletaan rakentamaan postprossoria työstökoneelle, puhutaan yleensä niin sanotusta peruspostprossorista. Tällä tarkoitetaan sitä, että työstökoneella voidaan ajaa CAM-ohjelmistolla tehtyjä ohjelmia niin, että kone toimii ilman sen kummallisempia hienouksia. Tällä pyritään siihen, että se voidaan jättää asiakkaalle testattavaksi joksikin aikaa, sillä useimmiten pieniä muutostarpeita alkaa löytyä vasta muutamien viikkojen kunnan käytön jälkeen. Pieniä muutoksia tehdään silloin tällöin, mutta kun uskotaan, että perustoiminnot onnistuvat, voidaan alkaa suunnitella tuotantopostprossoria. Tämä kyseinen tuotantopostprossori on paranneltu versio peruspostprossorista, johon aletaan säätämään optimointeja asiakkaan toiveen mukaan. Tällä pyritään esimerkiksi poistamaan turhat liikkeet, jotka vievät aikaa koneen käytössä; jo sekuntien aikasäästöllä päästään suuriin kokonaissäästöihin vuositasolla työstökoneen käytössä ja useimmiten tämä tarkoittaa silkkää säästöä konepajoissa. Tuotantokäyttöön on myös useimmiten asiakkaalla omia aliohjelmarakenteita, eli kone voi ajaa CAM-ohjelmistolla tehtyä koodia, kunnes se törmää jossain kohtaa aliohjelmakutsuun, joka voi olla esimerkiksi työkalunvaihto, paikoitus tai esimerkiksi jokin erityinen porauskierto. Tällöin kone automaattisesti hyppää pääohjelmasta aliohjelmakutsulla aliohjelmaan, suorittaa kyseiset toiminnot mitkä löytyvät aliohjelmasta, ja palaa takaisin pääohjelmaan ilman keskeytymistä. (IDEAL PLM ohje 2019.)

2.7 Post Builderin käyttö

Itse muokkauksesta ja rakennuksesta voidaan sanoa, että perusmuokkaus on objektien lisäämistä ja oikeinpaikoittamista toimivuuden kannalta, mutta vaativampi puoli on koodinkirjoittamista. Vaikeimmissa komennoissa vaaditaan TCL-koodin osaamista. Se muistuttaa normaalia C++-koodinkirjoittamista, mutta myös eroavaisuuksia löytyy. Kaikki tarvittavat käskyt löytyvät Post Builderin alta, joten ei tarvitse alkaa miettiä, mistä käskyt löytyvät, kunhan itse periaate on hallussa. Vanhoista toimivista postprossoreistakin voi ja kannattaa ottaa mallia, koska se helpottaa huomattavasti tekemistä, kun voi käyttää apuna esimerkiksi jonkun toisen tekemää koodirakennetta ja tarvittaessa hiukan muokata sitä. Tällä tyyllillä siis voidaan käyttää

hyödyksi mahdollisimman paljon olemassa olevaa tietoa ja taitoa, jota on monia vuosia kerrytetty sisäisiin kirjastoihin. TCL-koodausta tarvitaan huomattavasti moniakselisten koneiden parissa varsinkin pyörivien akseleiden parissa, mutta joissain tapauksissa täytyy perehtyä myös matriiseihin ja vektoreihin. Muun muassa rotaatiomatriiseja tarvitaan pyörivien akseleiden parissa, mutta harvemmin, koska useimmiten tarvittavat laskutoimitukset on suoritettu jo konekinematiikassa koneen mukana. (IDEAL PLM ohje 2019.)

2.8 Digitaalinen kaksonen

Digitaalista kaksosta voidaan pitää tosielämää matkivana tietokoneohjelmuna, jonka avulla nykyajan uusimpia it-järjestelmiä simuloidaan ennen kuin yhtään laitetta, konetta tai prototyyppiä on edes alettu rakentaa. Digitaaliset kaksoset ovatkin tämän ajan kuuminta muotia muun muassa iot:ssä, tekoälyissä sekä analyytikassa. Niiden käytölle on löydetty teollisuudenkin lisäksi runsaasti muita osa-alueita esineiden internetin, tekoälyn ja analyytikan kehityksen vuoksi. Virtualisaation avulla voidaan siis tutkia ja optimoida älykkäiden järjestelmien käyttöä ja käyttäytymistä sekä ”mitäs jos”-tilanteita. (Pervilä 2019.)

Digitaalisten kaksosten synty voidaan johtaa monien muidenkin uusien innovaatioiden tavoin Nasan (National Aeronautics and Space Administration, Yhdysvaltain avaruushallinto) tehtaalle. Yhdysvaltain avaruushallinto keksi ensimmäisenä kehittää jäljitelmiä alkuaikojen avaruuskapseleista, jotta näitä voitiin testata maassa jo ennen kuin ne lähetettäisiin kiertoradalle. Nasa onkin siis jo pitkään toiminut virtuaalisen simuloinnin etulinjassa. Vasta vuonna 2017 termi digitaalinen kaksonen sai lisää virtaa, kun Gartner ennusti virtuaalisen simuloinnin nousevan 3-5 vuodessa kymmenen tärkeimmän strategisen it-tekniikan eliittijoukkoon. Gartner ei myöskään ole peruuttanut puheitaan, sillä yhtiön tutkijat kutsuivat digitaalisia kaksosia viime vuonna uudestaan it-alan huipputeknologiaksi ja arvio oli, että vuoteen 2020 mennessä simuloinnin avulla yhdistettäisiin maailmassa noin 21 miljardia laitetta. (Pervilä 2019.)

2.9 Rotaatiomatriisi

Rotaatiomatriisilla voidaan tutkia kaikkea koordinaatistoihin, pisteisiin ja kappaleiden rotaatioihin liittyviä tutkimuskohteita. Käytännössä rotaatiomatriisilla lasketaan muun muassa robottikäsiin liikkeitä ja sijaintia, kun robottia liikutetaan eri asentoihin, joten rotaatiomatriisin ymmärtämiseen tarvitaan kolmiulotteisten koordinaatistojen ymmärrystä. Kierro rotaatiomatriisilla tai toiselta nimeltään kiertomatriisilla, on yleensä jäykkärakenteinen (karteesinen kierto), eli se tapahtuu ortogonaalisesti, jolloin kohteen muoto ja koko pysyvät ennallaan. Kiertomatriisit ovatkin siis kohteen ja kuvan välillä R^* sekä kuvan ja kohteen välillä R toisilleen käänteismatriiseja, katso kaava 1. (Bajd, Mihelj & Munih 2013, 13-20.)

$$R^* = R^{-1} (= R^T) \quad (1)$$

Linearisessa algebrassa rotaatiomatriisi on matriisi, jota käytetään laskennassa, jossa halutaan pyöryttää piste tietyn kulman ympäri ja saada suoraan oikeat arvot kyseiselle pisteelle. Alempana on esitetty yksinkertainen rotaatiomatriisi (kaava 2), jossa matriisilla pyörytetään piste xy -tasolla vastapäivään kulman θ ympäri. (Bajd, Mihelj & Munih 2013, 13-20.)

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.9.1 Ortogonaliteettiehdot

Ortogonaliteettiehdon mukaan voidaan piste muuntaa yhdestä kolmiulotteisesta koordinaatistosta toiseen koordinaatistoon siirtämällä ja kiertämällä. Muunnoksessa syntyy kolme siirtoa: X-, Y- ja Z-siirrot. Tässä tapauksessa siis kierto esitettäisiin 3x3 rotaatiomatriisilla. Nuo yhdeksän alkiota ovat suuntakosineita, joilla kaikki edelliset X-, Y- ja Z-komponenttivektorit projisoidaan uusien vektoreiden X-, Y- ja Z-komponenteiksi. Ortogonaaliteettiehdot voidaankin lausua yhtälömuodossa suuntakosinien välillä ja niillä pidetään huoli siitä, että kohteiden muodot eivät pääse muuttumaan, kun sitä lähdetään kiertämään. (Rönholm & Haggrén 2004, 2.)

2.9.2 Rotaatiomatriisit suuntakosinein

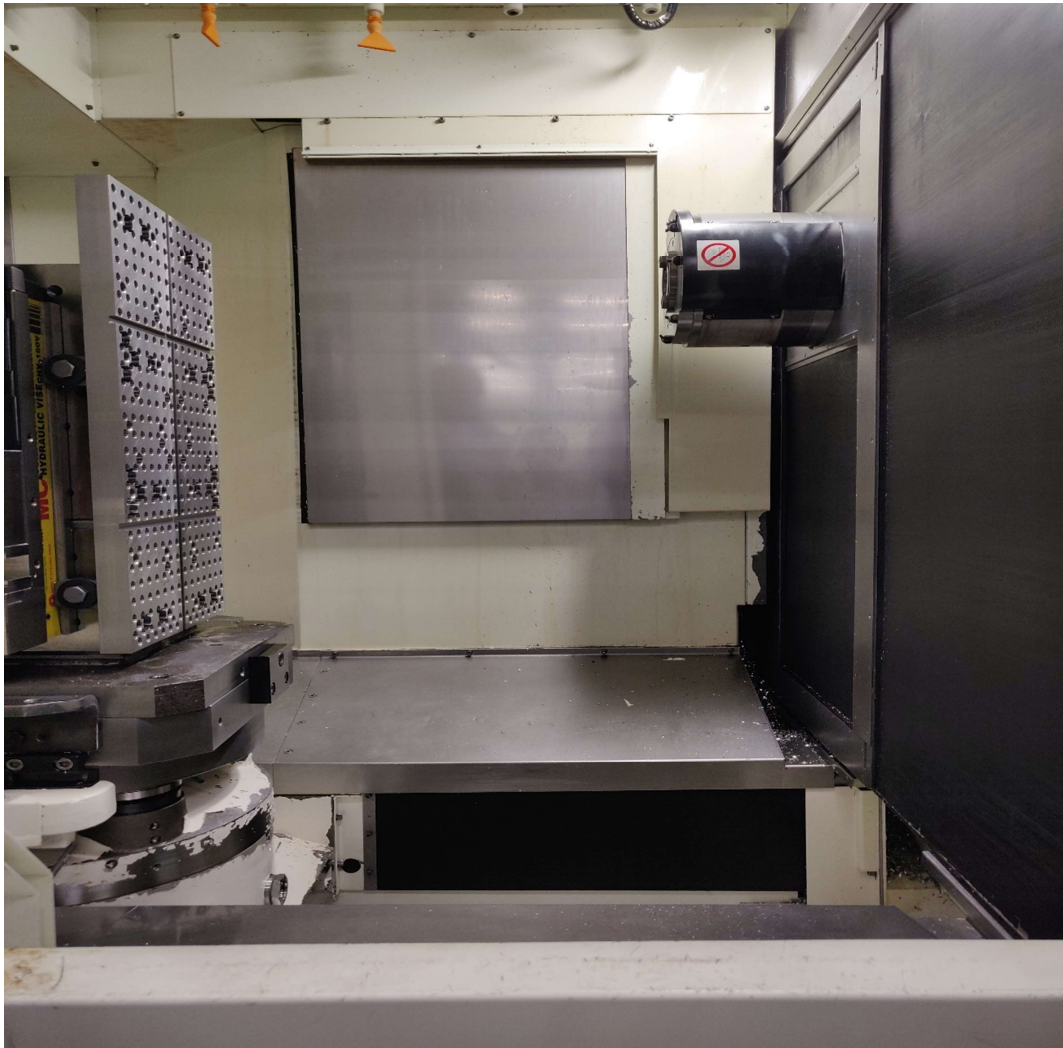
Rotaatiomatriisien alkioiden arvot luetaan koordinaattiakselien välisinä kulmien arvoina, joten esimerkiksi kulma "Xx" olisi kulma kohdekoordinaatiston X-akselin ja kamerakoordinaatiston x-akselin välillä. Suuntakosini "cos Xx" projisioisi kohdekoordinaatiston X-komponentin kuvakoordinaatiston x-akselille. Kuvakoordinaatti x muodostuu, kun tähän projisioidaan lisäksi kohdekoordinaatiston Y- ja Z-koordinaattiarvot. Suuntakulmia on siis tässä tyylissä yhtä monta kuin alkiota on, eli yhdeksän kappaletta yhteensä. Jos koordinaatit ovat suorakulmaisia niin kuin yleensä, kiertomatriisien alkioiden välillä on kuusi kohtisuoruusehtoa eli ortogonaalitehtiehtoa. (Rönholm & H. Haggrén 2004, 3.)

3 TYÖPROSESSI

3.1 Kitamura HX500i

Seinäjoen ammattikorkeakoulun Kitamura HX500i on liukujohteinen, neliakselinen vaakakarainen koneistuskeskus paletinvaihtajalla. Ohjauksena kyseisessä työstökeskuksessa on Fanuc 16i-MB ja se on varustettu karalla, jonka kierroslukuarvo on 35 - 12 000 rpm ja pikaliikenopeus 50 m/min. Työkaluja mahtuu makasiiniin 50 kappaletta ja lisävarusteena ostettuna tietysti enemmän, jos tarve vaatii. Neljäs akseli on toteutettu palettimaisella ympäripyörivällä B-akselilla ja se pyörii Z-X-tason ympäri. Paletteja voidaan tuoda ja vaihtaa toisenlaisiin kytketyn FMS-järjestelmän (Flexible Manufacturing System) avulla. Koneen tukevan rungon ansiosta se on vakaa koneistettaessa eikä pääse syntymään värinää, joka näkyisi muun muassa huonona pinnanlaatuna valmiissa kappaleissa. Paletin ansiosta kappaleita voidaan mahdollisesti kiinnittää neljälle eri sivulle, mikä mahdollistaa tehokkaan koneistuksen varsinkin, jos kyseessä on sarjatuotantoa. Toisaalta kääntyvä B-akseli auttaa myös monimuotoisten kappaleiden kanssa, jolloin päästään suorittamaan eri puolille kappaletta työstöoperaatioita ilman, että kappaletta irrotetaan kiinnityksestä ollenkaan.

Vaakakaraisen Kitamura-koneistuskeskuksen hyötyjä ovat myös suhteellisen nopea työkaluvaihto, joka tapahtuu nopeimmillaan noin 2,5 sekunnissa. Jos mietitään lisää vaakakaraisen etuja, päästään tehokkaaseen lastunpoistoon. Koska Z-akseli liikkuu vaakatasossa, pääsevät työstöstä syntyvät lastut putoamaan tehokkaasti leikkuunesteen mukana suoraan alaspäin verrattuna esimerkiksi pystykaraiseen työstöön, jossa lastut eivät poistuisi välttämättä yhtä hyvin ilman tehokasta leikkuunestejärjestelmää. Kitamuran pohjakuljetin kuljettaa työstöstä syntyneet lastut ulkopuoliseen konttiin, josta ne voidaan kierrättää uudelleen. Kuvasta 6 ilmenee Seinäjoen ammattikorkeakoulun Kitamura HX500i -työstökeskus.



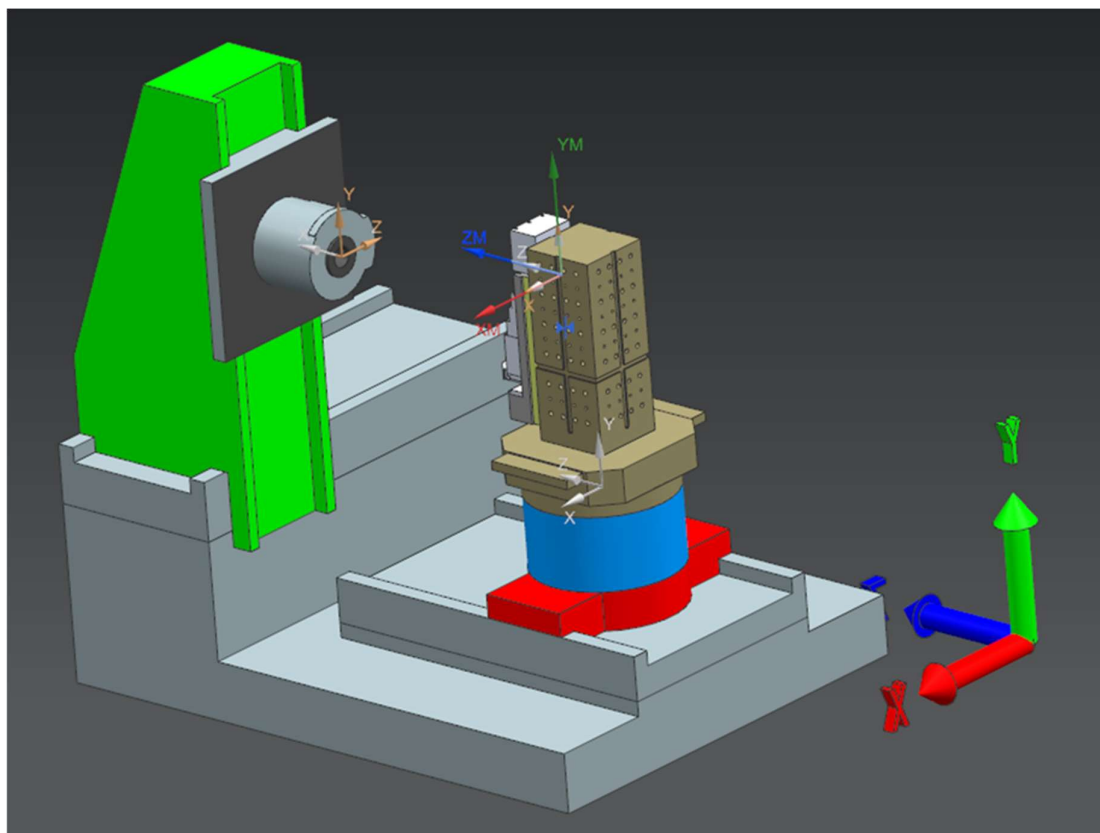
Kuva 3. Kitamura HX500i (2019).

3.2 Simulointimalli

Konesimulointia varten tarvitaan täydellinen malli työstökoneesta, jota varten simulointi otetaan käyttöön. Tätä varten konemallin täytyy olla identtinen työstökoneen kanssa, jotta simulointi tapahtuu oikein ja oikeanlaisilla liikkeillä. Koko simulointimallin rakentaminen lähtee liikkeelle siitä, että mitataan työstökoneen strategisesti tärkeät ja liikkuvat osat, eli osat, jotka ovat lähellä työstettävää kappaletta, kuten esimerkiksi puristimet, pitimet, työkalut ja liikkuvat akselit. Mittaus saattaa olla välillä suhteellisen haastavaa varsinkin suurten työstökeskusten kanssa, jolloin mittaustulokset saattavat poiketa hieman todellisuudesta. Useimmiten riittääkin, että juuri

kiinnittimet, puristimet sekä kara on mallinnettu tarkasti, ja muut osat ovat esimerkiksi mitalla mitattuja osia, joihin voi varmuuden vuoksi laittaa hieman työvaraakin, mikäli ei luota omiin mittaustuloksiinsa.

Työstökoneesta mallinnetaan suunnitteluohjelmistolla kaikki kriittisimmät osat saatujen mittojen perusteella, minkä jälkeen osista voidaan tehdä koneenmukainen täydellinen kokoonpano. Mallintaessa täytyy osata ottaa huomioon kriittisimmät osat simuloinnin kannalta, joten esimerkiksi jokaista pulttia tai rasvanippaa ei ole pakollista mallintaa, mikäli se ei ole simuloinnin kannalta tarpeellista, saati hyödyllistä. Myöskään yksityiskohtia ei ole pakko mallintaa täydellisesti, vaan muotoja voi paljonkin yksinkertaistaa, mikäli mallintaja osaa ottaa huomioon simulointia varten tarvittavat piirteet sekä kokoonpanon toiminnan kannalta tärkeät muodot. Esimerkin pelkistetyistä työstökeskuksen konemallista näkee kuvasta 7.



Kuvio 4. Pelkistetty työstökeskus (NX 2019).

Useimmiten konemallin monimuotoisuus ja monet yksityiskohdat kasvattavat myös turhan paljon tiedostokokoa, mikä taas saattaa rasittaa huonommalla suorituskyvyllä olevia tietokoneita. Toisaalta koko CAM-ohjelmisto vaatii suhteellisen tehokkaat työskentelyvälineet, joten harvoin itse tiedostokokoo rajoittaa laskenta-aikoja.

Suunnitteluohjelmistolla ei ole merkitystä konemallin mallintamisessa, vaan malleja voidaan tuoda monista eri ohjelmistotyypeistä, kunhan mallit on tallennettu universaaliin muotoon, jolloin ne avautuvat NX:ssä. Silloin tällöin itse malleja vielä saataan muokata NX:n mallinnuspuolella, mikäli huomataan, että kone poikkeaa mallista tai halutaan pelkistää turhat yksityiskohdat pois. Useimmiten itse mallintamalla säästetään huomattavasti kustannuksia, sillä pelkän työstökoneen 3D-mallit saattavat olla hyvinkin kalliita, riippuen toki koneen tyypistä, merkistä ja mallista.

3.3 Rakentaminen

Varsinaisen konesimulointimallin rakentaminen lähtee käyntiin siitä, että saatu konemalli tai mallinnettu konemalli avataan Siemensin NX-ohjelmistoon. Kun konemalli on saatu avattua ohjelmistoon, se ohjautuu automaattisesti Gateway-näkymään, joka on perusnäkyvä avattaville objekteille. NX ei ole vain pelkkä CAM-ohjelmisto, jonka näkee kuvasta 8, vaan samaan kokonaisuuteen kuuluu muun muassa myös suunnitteluohjelmisto sekä erilaiset lujuus- ja virtausmallinnusohjelmistot, mikäli asiakas on halunnut ostaa kyseiset ominaisuudet käyttöönsä tilausvaiheessa. Tämän takia seuraavaksi valitaan ohjelmisto, johon konemalli halutaan seuraavaksi avata. Konemallin rakentamiseen on tarkoitettu oma työkalu NX:n ohjelmistokokonaisuudessa, joten tämän vuoksi konemalli avataan Machine Tool Builderissa, jossa varsinainen rakentaminen tapahtuu.



Kuvio 5. NX:n Ohjelmistomoduulit (NX 2019).

Kun konemalli on auki Machine Tool Builderissa, aletaan ensimmäisenä määrittämään koneen komponentteja. Aluksi määritetään pohjakomponentti, joka on yleensä koneen runko tai muuten paikoillaan oleva osa, jonka päällä muut osat liikkuvat. Esimerkiksi kuvan 5 työstökeskuksessa se on harmaa runko, jonka päälle on kokoonpanossa koottuna muut osat. Samalla määritetään myös koneen nollapiste mallissa samaan kohtaan, kuin se oikeassakin työstökoneessa on. Tämän jälkeen voidaan alkaa määrittämään koneen karaa tai akseleita. Koska kyseessä on työstökeskus, ei karasta tarvita omaa kokoonpanoa, joka olisi koottu erikseen Machine Tool Builderissa ja tuotu sitten pääkokoonpanoon. Tällä tyylillä pyritään helpottamaan esimerkiksi erikokoisten leukojen vaihtelua konemallissa, jos kyseessä on sorvaava keskus, mutta myös varmistetaan leukojen oikeat liikkeet ja etäisyydet, kun varsinaisella työstöpuolella tuodaan kappaleen sekä aihion malli konemalliin kiinni. Eli kun kappale ja aihio paikoitetaan konemalliin, voidaan leuat ”puristaa” konemallissa aihioon kiinni, jolloin ne ovat juurikin samoilla kohdilla kuin oikeassakin työstökoneessa. Tämän ansiosta simuloinnista saadaan tarkka ja paikkansa pitävä digitaalinen kaksonen työstöohjelmaa tehdessä.

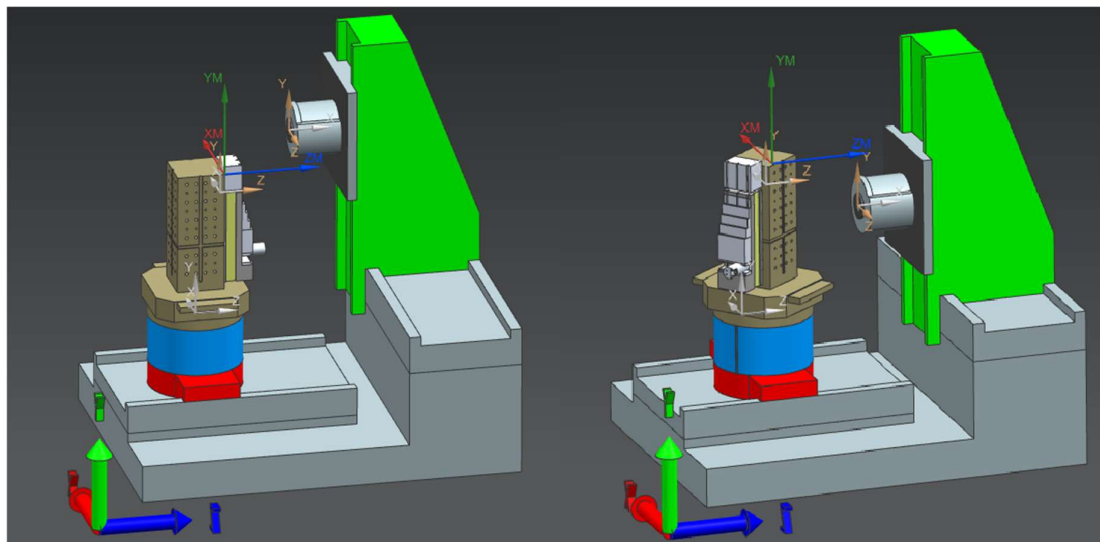
Akseleiden määrittäminen tapahtuu seuraavaksi. Aluksi pelkät akseleiden 3D-komponentit määritetään konemallia rakennettaessa, joten käytännössä mallista katsotaan oikea osa, jota halutaan liikuttaa, ja luodaan siitä oikean niminen komponentti konemalliin. Vasta kun liikkuvat osat ovat määritetty, voidaan alkaa määrittämään akseleiden todellisia liikeratoja sekä akselirajoja. Kuvasta 9 voi tutkia NX:n Machine Tool Builderin konekinematiikan rakennepuuta.

KITAMURA_HX_500I		
[-] MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE	MACHINE_BASE_JCT
[-] BASIS		MACHINE_ZERO*
[-] ZMAIN		
[-] ZAXIS		ZAXIS_JCT
[-] BAXIS		
[-] SETUP	_SETUP_ELEMENT	PART_MOUNT_JCT
FIXTURE	_SETUP_ELEMENT	
PART	_PART, _SETUP_ELE...	
BLANK	_WORKPIECE, _SETU...	
[-] XMAIN		
[-] XAXIS		
[-] YAXIS		
[-] SPINDLE	_DEVICE	S*
POCKET_01	_DYNAMIC HOLDER	T1
POCKET_02	_DYNAMIC HOLDER	T2
POCKET_03	_DYNAMIC HOLDER	T3

Kuvio 6. Rakennepuu (NX 2019).

Hyvänä apuna koneenrakennuksessa toimivat edelliset valmiit konesimulointimallit, joista voi vaikeammassa kohdissa ottaa mallia. Myös NX:n sisäisessä kirjastossa olevien Siemensin tekemien mallien apuna käyttäminen osoittautui erittäin hyväksi avuksi pyörivien akseleiden kanssa. Itse akseleiden määrittämisessä tärkeintä on ottaa huomioon akselisuunnat, lineaariset akselit ovat helpommin määritettävissä, mutta varsinkin pyörivien akseleiden kanssa tulee olla hyvinkin tarkkana, jotta akselin plus- ja miinussuunta tulee oikein konesimulointimalliin. Usein akselit määritetään jo etukäteen ennen kuin varsinainen konemallin testaus suoritetaan varsinaisen työstökoneen vieressä, sillä useimmiten koneen testausaika on hyvinkin vähissä asiakkaiden työkiireiden vuoksi. Joskus koneesta on saatavilla myös ohjekirjoja, joiden avulla määrittäminen voidaan tehdä, mutta usein kirja tai ohjeet ovat hukku-neet ajan saatossa. Virallinen tarkastus tapahtuu vasta, kun päästään esirakennetun konemallin kanssa testaamaan koneen oikeat akseliliikkeet, akselisuunnat ja akselirajat. Käytännössä koneen akselit ajetaan yksitellen ensin toiseen suuntaan ja sitten toiseen suuntaan rajakytkimille, jolloin koneen ohjausnäytöstä otetaan lukemat rajoista, oikeista suunnista sekä liikealueen pituudesta. Jokaisen akselin tarkat rajat otetaan tällä tyyllillä ja lisätään 3D-konesimulointimalliin, jotta päästään tarkkaan simulointitulokseen ja digitaalinen kaksonen on yhtäläinen oikean koneen

kanssa, eikä kolareita tai törmäyksiä pääse varsinaisella työstökoneella tulemaan. Kun oikeat arvot ovat saatu paikoilleen, voidaan mallia testata ohjelmistoympäristössä ja tutkia, kuinka akselit liikkuvat koneessa kuten kuvassa 10.



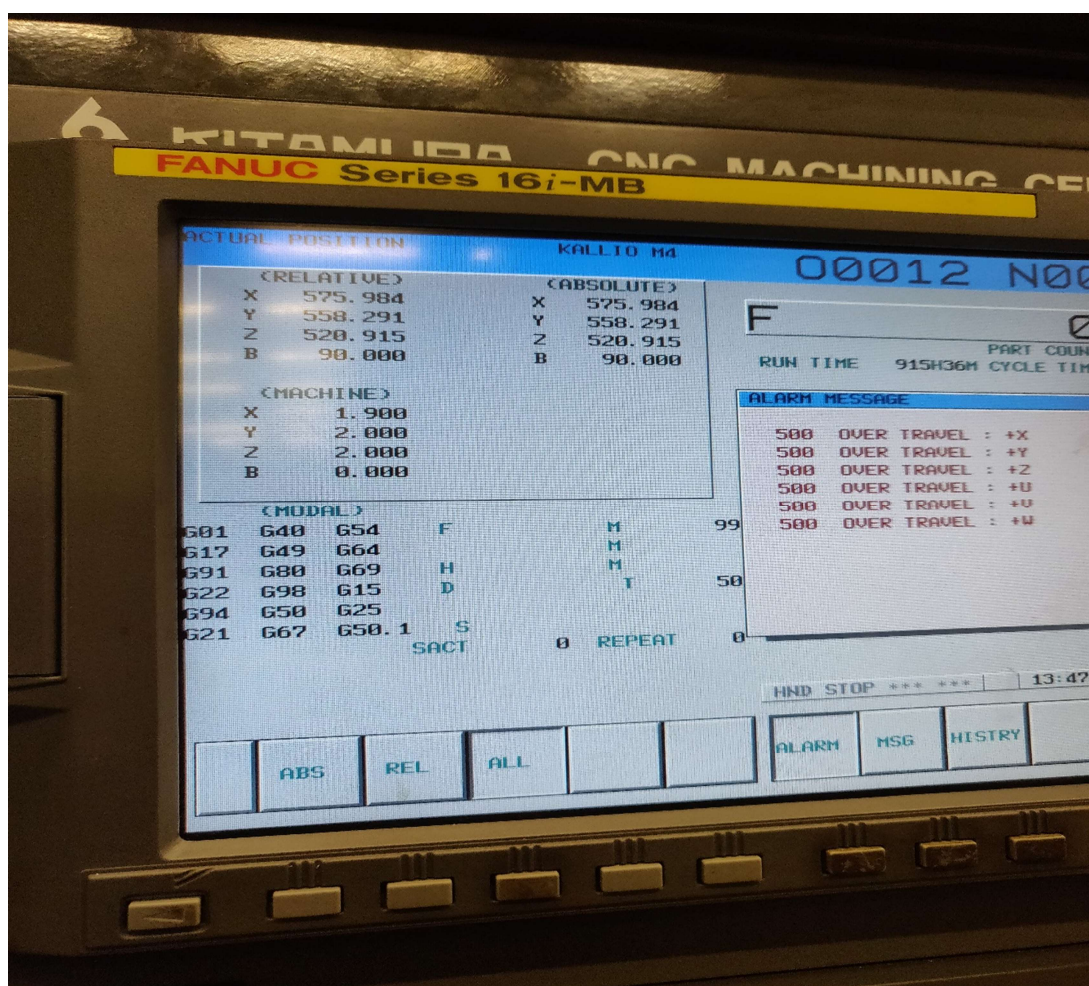
Kuvio 7. Akseliliikkeet (NX 2019).

3.4 Työstökeskuksen akselien tarkastus

Alkumäärittysten jälkeen akselit käydään varmistamassa koneella. Alkutoimenpiteenä työstökone ajetaan koneen omaan nollapisteeseen eli käytetään G53-nollapistettä, jolla koneen akselit ajautuvat omille paikoilleen. Kun työstökone on nollapisteessään, voidaan määrittää simulointimalliin koneen sama nollapiste, joka sijaitisi karan otsapinnassa. Nollapisteen jälkeen tarkastettiin työkalunvaihtopiste, jotta simulointimallissa työstökone liikkuisi oikeaan kohtaan vaihtamaan työkalun. Koneen nollapisteen selvittämisen jälkeen jokainen akseli käytettiin akselirajoilla, eli koneenkäyttäjä ajoi varovaisesti jokaista akselia niin kauan plus- ja miinussuuntaan, jotta työstökone automaattisesti huomasi akselirajan ylittyneen ja pysäytti liikkeen. Tämän jälkeen työstökoneen ohjausnäytöltä luettiin lukema ja kirjattiin talteen varsinaista määritystä varten. Kuten kuvasta 11 voidaan huomata, eivät X-, Y-, ja Z-akselien koordinaatit paljonkaan muuttuneet työstökoneen nollapisteeseen verrattuna, mutta konesimulointimalliin kirjataan tarkat lukemat kaikista kohdista, jolloin

työstöohjelmia tehdessä voidaan simuloinnissa suoraan havaita akselirajojen ylitykset ja esimerkiksi säästää aikaa huomattavia määriä asetusten tekemiseen ja varsinaisella työstökoneella testaamiseen verrattuna.

Konetta tarkastellessa huomattiin, että vaihdettavat paletit eivät kaikki olleet samantaisia keskenään. Vaikka paletteja ei oppilaitoskäytössä paljonkaan vaihdella, täytyi konesimulointimalliin tehdä hiukan muutoksia paletinvaihtoon liittyen. Konesimulointimallissa paletti oli mallinnettu yhtenäiseksi koko B-akselin kanssa, joten mallia muokattiin siten, että voidaan tarvittaessa vaihtaa eri tarkoitukseen oleva erikokoinen paletti kiinni.



Kuva 4. Akselirajat (2019).

Itse koneeseen lisätään vielä oma ohjaustyyppinsä. Jokaisella koneella voi olla hiukan erilainen ohjauskoodinsa, jota työstökone lukee liikkeissään. Yleisimpiä ohjaustyyppisiä ovat muun muassa Fanuc, Siemens ja Heidenhain, mutta nämä ovat vain

yleisimpiä ohjaustyypppejä Suomessa, joten todellisuudessa ohjauskin täytyy räätälöidä oikean työstökoneen kanssa toimimaan samalla tavoin. Sovittamisessa pätee myös se, että jokainen ihminen käyttää työstökonetta eri tavalla, joten kompromisseilta ei koskaan voi välttyä.

Kun akselit ja ohjaus on laitettu kuntoon, voidaan aloittaa varsinaiset ajot koneella. Aluksi tietysti tehdään työstöradat, jotka ajetaan sekä oikealla työstökoneella että simulaatiomallilla, minkä jälkeen verrataan työstöratojen kulkua keskenään. Jos radat täsmäävät, on simulaatiomallin luominen onnistunut ja voidaan pikkuhiljaa siirtyä varsinaisten koneistuksien pariin. Ensimmäiset työstötkin tietysti ajetaan varovaisesti, koska aina uusien mallien käyttöönotossa on omat riskinsä, mutta muutama ajokerran jälkeen, jos kaikki on kunnossa, voidaan varsinaiset tuotantoajot aloittaa käyttäen uutta konesimulointimallia.

3.5 Työkalujen luominen

Konesimuloinnin voi suorittaa ohjelmistoon tuotavilla 3D-työkaluilla, mutta työstöradan tekemiseen tarvitaan NX:ssä tehty oma parametrinen malli työkalusta. Seuraavaksi käsitellään työkalun luomista parametrinen mallina, jotta pystytään tekemään varsinaista työstörataa. Kun työkalua lähdetään luomaan, ohjelmisto kysyy, minkä tyyppistä työkalua ollaan luomassa, katso kuva 12.



Kuvio 8. Työkalut (NX 2019).

Työkalun perustyyppin määrittämisen jälkeen ohjelmassa aletaan määrittämään tarkempia tietoja työkalusta, kuten esimerkiksi halkaisijat, pituudet, hammasluku, nurkkaviisteet ja pyöristykset sekä muuta otollista tietoa työstön kannalta. Samaan aikaan, kun tietoja syötetään valikkoon, ohjelma tekee parametristä mallia tietojen

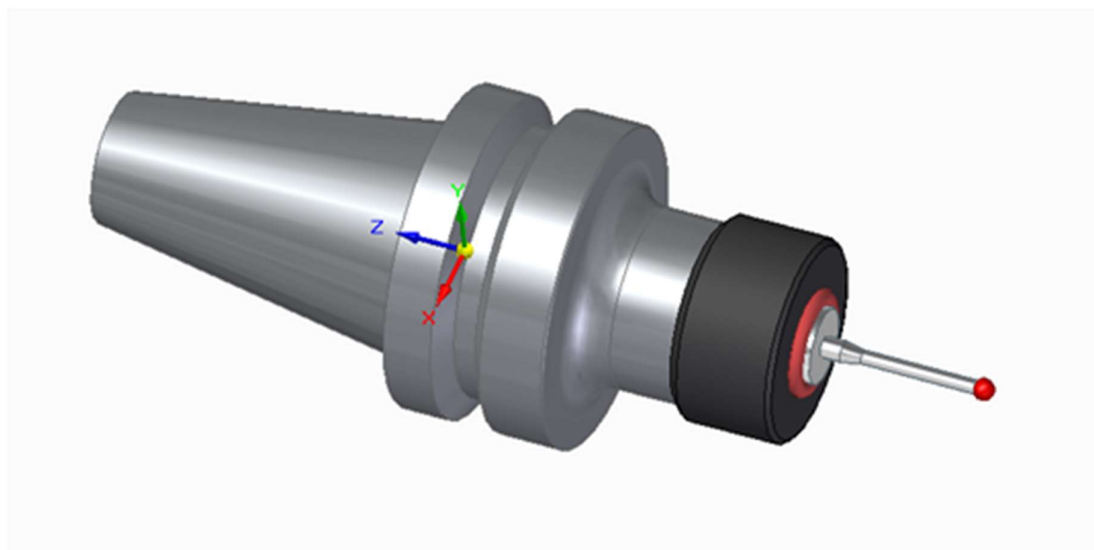
mukaan, jota voidaan samanaikaisesti tutkia näytöltä. Tällä kyseisellä parametri-
sellä mallilla saadaan simuloitava työstörata tehtyä työstöpuolella, mutta aikaa ku-
luu huomattavasti, kun aletaan tekemään kattavaa työkalukirjastoa. Työkalut voi-
daan linkata suoraan ohjelmiston sisäiseen kirjastoon, mutta useimmiten työkalut
tehdään konesimulointimalliin sidonnaisena, jolloin aina saman konemallin avautu-
essa työkalut ovat valmiina käytettävänä. Itse parametrinen malli ei ole mitenkään
yksityiskohtainen, vaan mallissa on vain kriittisimmät mitat ja muodot, joilla päästään
työstöradan tekoon. Työkalun varren ja pitimen mallinnus tapahtuu samanlaisesti
kuin itse työkalun, eli parametrinen mallinnus tarvitaan kummastakin, jotta ohjel-
misto pystyy tekemään työstöradan oikein. Työkalupaikkojen määrän tietysti kertoo
oikea työstökone ja työkalunumeroinnin tulee täsmätä konemallin ja koneen kanssa,
jotta oikeat työkalukorjainten tiedot siirtyvät ohjelman mukana koneesta toiseen.
Käytännössä työkalun luomisessa ei tarvitse paljon muuta huolehtia, kunhan oikeat
mitat saadaan tehtyä malleihin, joko mittaamalla itse työkalusta tai tarkistamalla työ-
kaluvalmistajalta, maahantuojalta tai jälleenmyyjältä.

Seinäjoen ammattikorkeakoulun Kitamuran kaikkia työkaluja ei mallinnettu, vaan
mallinnettiin vain niin sanotuilla vakiopaikoilla olevat perustyökalut, jotka pysyvät
paikoillaan eivätkä vaihdu. Tämä toimenpide oli järkevintä, koska koneella on monta
eri käyttäjää ja kappaleet ovat välillä hyvinkin erimuotoisia opetuskäytössä. Tämän
vuoksi lähes jokaisella kerralla joudutaan vaihtelevaan työkaluja työkalupaikoilla,
jolloin NX:n konemallin työkalut olisivat väärin ja saattaisivat aiheuttaa kolarointia
varsinaisella koneella.

3.6 Työkalun mallinnus ja paikoitus

Työkalun mallinnus tapahtuu samalla tyylillä kuin mikä tahansa mallinnus. Tässä-
kään ei ole mallinnusohjelmistolla väliä, kunhan tiedostomuoto on sellainen, jotta
sen saa auki NX:ssä. Työkalun mallinnus on tarkempaa työtä, koska vahingoilta
halutaan tietysti aina välttyä työstettäessä kappaletta. Mallinnusurakkaa voidaan
helpottaa esimerkiksi lataamalla työkaluvalmistajalta valmiita teriä, komponentteja
tai vaikkapa kokonaisia työkaluja, joita voidaan suoraan käyttää simuloinnissa, kun-

han määrytykset on tehty. Täytyy kuitenkin varmistua, että ladataan oikeaan työkaluun liittyvät tiedostomallit luottaen, että ne myös ovat oikein mitoitettuja. Työkalun käyttöä helpottaa, jos mallinnuksessa on käytetty eri värejä kuvaamaan eri kohtia työkalusta. Muun muassa keltainen väri on NX:ssä yleensä leikkaava kohta työkalusta, joten on huomattavasti mukavampaa, jos mallinnetussakin työkalussa värit täsmäisivät parametrisen mallin kanssa, jolloin turhilta arvailuilta ja sekaannuksilta säästytään. Mittatyökaluja mallinnettaessa voidaan tietysti käyttää muitakin värejä, koska niin sanottua leikkaavaa työstöä ei tapahdu, vaan mittatyökalulla käydään ”tökkimässä” kappaletta, jolloin mittapään koordinaattiarvot tallentuvat koneelle ja niitä voidaan käyttää hyödyksi työstettäessä tai työstön jälkeen tarkastella valmista kappaletta. Mittatyökalun 3D-mallin muodot ja värit esiintyvät kuvassa 13.



Kuvio 9. Mallinnettu mittatyökalu (Solid Edge 2019).

Paikoitus työkaluille tehdään NX:ssä Machine Tool View -kohtaan, josta löytyvät numeroidut työkalutaskut. Useimmissa jyrsinkeskuksissa työkalut ovat piilossa eikä niiden tarvitse näkyä muuta kuin itse työstöjä tehtäessä, mutta sorveissa ja sorvaavissa jyrsinkeskuksissa syy työkalujen paikoitukseen on se, että ne useimmiten ovat koko ajan paikoillaan niin sorvissa kuin konemallissakin, joten täytyy koko ajan tietää, osuvatko ne mahdollisesti johonkin vai haittaavatko ne kenties muuten työskentelyä.

4 POSTPROSESSORIMUOKKAUKSET

4.1 Postproessorin rakennus

Kitamuran postproessori oli tehty jo aiemmin IDEAL PLM:n tekemä Seinäjoen ammattikorkeakoululle, minkä ansiosta työstökoneella oli ajettu tuotantoajoja jo monia vuosia. Tämä kyseinen postproessori oli kuitenkin vain niin sanottu peruspostproessori, joten siihen pystyttiin muokkaamaan vielä muutamia kohtia, jotta työstäminen helpottuisi. Kitamuraan lähdettiin muokkaamaan nollapisteen siirto, jolla voidaan siirtää käytössä oleva nollapiste esimerkiksi toiseen kappaleeseen työstettäessä tai eri kulmaan, jolloin koneenkäyttäjän on helpompi lukea koneen näytöltä koordinaatteja sekä varmistua siitä, että liikkeet tapahtuvat oikeisiin suuntiin oikeilla liikepituuksilla. Nollapisteen siirrolla myös mahdollistetaan ylimääräisten nollapisteen poistaminen, joten koneenkäyttäjän ei tarvitse kuin seurata yhden nollapisteen käyttäytymistä koneen asetuksissa.

Muokkaus lähti käyntiin siitä, että käytössä oleva nykyinen Kitamuran postproessori avattiin NX:n Post Builderiin, jossa kaikki muokkaukset vielä nykyään tehdään NX:n postproessoreihin Suomessa. Postprosessoidussa koodissa oli jo toimivat käskyt oikeilla paikoillaan, joten heti alussa voitiin keskittyä muokattaviin kohtiin. Alkutoimenpiteinä tutustuttiin nollapisteen siirto -aiheeseen jo tehtyjen postproessoreiden muodossa, koska IDEAL PLM:llä on nykypäivänä kattava kirjasto ja osaaminen nykyaikaisten monimutkaisten postproessoreiden kanssa on huomattavaa. Itse nollapisteen siirtoa ei voitu kuitenkaan kopioida suoraan mistään, koska kyseistä operaatiota ei oltu koskaan aiemmin tehty samankaltaisille konetyypeille. Tämän vuoksi täytyi aluksi käyttää aikaa aiheeseen perehtymiseen sekä opetteluun, mutta myös siihen, kuinka työstökoneetta olisi helppo käyttää ja lukea. Tiedonhaku nykyään on helppoa internetin välityksellä, mutta suurena apuna toimi myös yrityksen sisäiset tietokannat sekä tuki, jolta pystyi tarvittaessa kysymään apua.

Varsinaisessa nollapisteen siirrossa tarvittiin matriisilaskentaa avuksi, jotta nollapiste voidaan esimerkiksi siirtää toiselle puolelle tornia vaakakaraisessa koneistuskeskuksessa. Rotaatiomatriisien avulla lasketaan siirtymä koordinaatistossa, jonka

avulla siirto reaaliajassa tapahtuu. Laskelmissa käytettiin Exceliä, jossa muodostettiin tarvittavat kaavat rotaatiomatriiseille. Kun kaavat olivat valmiit ja toimivat, ne siirrettiin Post Builderiin TCL-koodin avulla. Suurena apuna Post Builderia käytettäessä toimii Backup-tiedostot, jotka luodaan aina tallennuksen yhteydessä. Tämän vuoksi jokaisesta tallennuksesta on varmuuskopio, jos sattuu tulemaan virheitä tai muita ongelmia, joiden vuoksi joudutaan palaamaan taaksepäin muokkausurakassa. TCL-koodaukseen myös löytyy huomattava määrä apua ja esimerkkejä sekä NX:n sisäisestä materiaalista, että internetistä.

Lopuksi huomattiin, kuinka työstökoneetta käytettäessä käsky G28 resatoi työkalun pituuskompensoinnin kokonaan. Tämä tarkoittaisi käytännössä sitä että työkalun pituutta ei huomioitaisi kun koneella tulisi käsky, joka veisi Z-akselin kotiasemaan. Tämän jälkeen, kun työstö jatkuisi, työstökone ei katsoisi työkalun olevan paikallaan vaan ajaisi suoraan koneen karan otsapinnassa sijaitsevan koneen nollapisteen kappaleeseen kiinni. Tämä ongelma korjattiin sillä, että joka kerta, kun huomataan käsky G28, pakotetaan työkalukompensaatio G43 Hxxx päälle samalla kun Z-akselia liikutetaan takaisin.

4.2 Aliohjelma nollapisteen siirtoon

Aliohjelma auttaa koneistuksessa siinä määrin, että sillä saadaan pilkottua ohjelmat pienempiin osa-alueisiin ja niitä on helppo käyttää uudelleen ja uudelleen. Varsinaisesta nollapisteen siirrosta siis luotiin oma aliohjelmarakenteensa Kitamuralle ja se asetettiin koneen parametreihin muistiin. Ohjelmanimeksi nollapisteen siirrolle laitettiin O0800, jotta se löydettäisiin helposti koneen parametreista, eikä sitä käytäisi muokkaamassa, saati poistamassa, mikä aiheuttaisi operaation epäonnistumisen koneistuksessa. Koko nollapisteen siirto -aliohjelma perustuu rotaatiomatriiseihin, joten se voitiin kirjoittaa Notepad++-ohjelmistolla käyttäen apuna Kitamuran konesimulointimallia, jolla tarkastaa reaalisesti, kuinka kone oikeasti käyttäytyy siirron aikana.

Aliohjelmassa haetaan eri parametreille arvot koneelta, joten esimerkiksi parametri #5220 määrittää otetun nollapisteen koordinaatit. Jos huomataan, että varsinaisessa työstökoneelle syötettävässä G-koodissa tapahtuu B-akselin kääntäminen,

suoritetaan nollapisteen siirto -aliohjelma O0800. Itse aliohjelman sisällä siis on lause, jossa määritetään, koska aliohjelma suoritetaan loppuun asti ja koska sen suorittaminen keskeytetään. Jos aliohjelma suoritetaan, haetaan uusille #xxx-parametreille X-, Y- ja Z-koordinaattien arvot asetetusta nollapisteestä. Tämän jälkeen lasketaan nollapiste suhteessa B-akselin pyörintäpisteeseen, minkä jälkeen käyttöön tulee rotaatiomatriisit, joilla lasketaan B-akselin käännön jälkeen saman nollapisteen paikka, jolloin koneistuksessa koneenkäyttäjä pystyy lukemaan samoja koordinaatteja kuin ilman kääntöäkin. Jos nollapisteen siirtoa ei toteutettaisi, koneenkäyttäjä ei pystyisi lukemaan koneen todellisia koordinaatteja, sillä ne eivät olisi oikein kohdistettuna ja täten ei pystyisi ennakoimaan koneen tulevia liikkeitä millään tavalla.

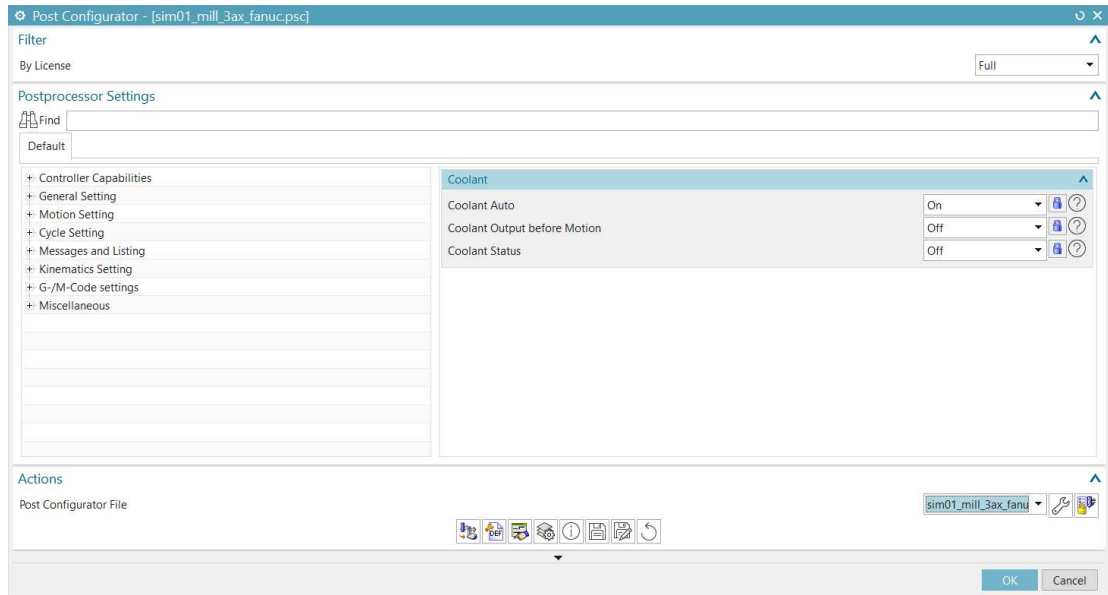
5 POST CONFIGURATOR

5.1 Vaihtoehtoinen työkalu postproessorin tekoon

NX:n laitekokonaisuuteen kuuluu myös toinen postproessorin tekemiseen tarkoitettu työkalu. Post Configurator on uudempi työkalu Post Builderin rinnalle ja sen toimintaperiaate on hiukan erilainen kuin edeltäjällään. Myös Post Configuratorissa helpoimmat käskyt ja komennot saadaan paikoilleen järjestelemällä ja kirjoittamalla halutut käskyt paikoilleen, mutta suuremmat muutokset tehdään TCL-koodiin samoin kuten Post Builderissakin. Käytössä eroavaisuuksia on siinä, että uudemmassa työkalussa käytössä on tasomainen rakenne postproessorien tekemisen helpottamiseksi. Post Configurator on ohjelmistorakenteeltaan täysin erilainen kuin Post Builder, joten vanhaa Kitamuran postproessoria ei voida muokata uudella työkalulla, vaan sen tekemistä on jatkettava vanhalla työkalulla. Koska suuria muutoksia ei tarvinnut tehdä postproessoriin, päädyttiin käyttämään vanhaa tuttua työkalua muokkauksiin ja vasta tulevaisuudessa otetaan käyttöön uusi työkalu postproessorien tekemiseen. Samaa TCL-koodia voidaan kuitenkin hyödyntää kummassakin postproessorin luomiseen tarkoitetussa työkalussa, mikäli joskus halutaan siirtää tai päivittää vanhat pohjat uudelle helpommin muokattavissa olevalle ohjelmistolle.

5.2 Kouluttautuminen

Post Configuratorin käyttöön oli Siemens PLM:n järjestämä viikon mittainen koulutus Berliinissä Saksassa ja IDEAL PLM:ltä osanottajia koulutukseen oli viisi henkilöä. Aluksi esiteltiin uudet ominaisuudet vanhaan Post Builderiin verrattuna, minkä jälkeen läpi käytiin kaikki perustoiminnot, joilla päästäisiin alkuun harjoituksissa. Harjoituksissa käytettiin Siemensin NX:ssä jo valmiina olevia konesimulointimalleja, joihin alettiin rakentamaan kouluttajan opastamana uutta postproessoria. Pääosin koulutuksessa painotettiin TCL-koodin kirjoitusta, jolla suurimmat muokkaukset kuitenkin tehtäisiin ja lisäksi helpommat muokkaukset olivat kaikille jo tuttuja erilaisista harjoitusmateriaaleista. Post Configuratorin näkee kuvasta 14.



Kuvio 10. Post Configurator (NX 2019).

6 TULOKSET

Tämän opinnäytetyön tuloksena Seinäjoen ammattikorkeakoulun Kitamuran HX500i -vaakakaraiselle koneistuskeskukselle saatiin käyttöön konesimulointimalli todellisesta työstökoneesta Siemensin NX CAM -ohjelmistolle. Lisäksi ammattikorkeakoulun Kitamuralle saatiin käyttöön nollapisteen siirto -aliohjelma O0800, jolla G54-nollapiste saadaan siirrettyä esimerkiksi toiseen kappaleeseen tai käännettyä B-akselilla eri kulmaan, jolloin kappale kääntyy eri asentoon ja voidaan tehdä tarvittavat koneistukset uudessa tasossa.

Toimiva konesimulointimalli nostaa koneistuksen uudelle tasolle, jolloin voidaan helpommin, nopeammin ja turvallisemmin toteuttaa valmistusprosessi oppilaitoskäytössä. Oppilaat voivat perehtyä koneen liikkeisiin jo ennen kuin itse työstökone liikkuu ollenkaan ja voivat tarpeen vaatiessa muokata työstörataa toimivammaksi. Konesimulointimallilla tarkistetaan myös mahdolliset törmäykset ja niihin voidaan puuttua jo heti menetelmäsuunnittelun alussa. Varsinkin moniakselisilla koneilla konesimulointi on lähes pakollinen työkalu, jotta säästytään turhilta kustannuksilta, joita mahdolliset konerikot toisivat.

Uusi nollapisteen siirtomalli ja siihen liittyvät postprosessorimuokkaukset helpottavat koneistusta eri suunnista, joten monista eri suunnista koneistettaessa ei tarvitse enää ottaa useita nollapisteitä kappaleeseen ja kääntää pöytää erikseen. Nykyään riittää, että otetaan yksi nollapiste kappaleen nurkkaan ja CAM-ohjelmassa tehdään tarvittavat työstöt eri suunnista, jolloin postprosessori kääntää pöytää ja tarvittaessa kutsuu nollapisteen siirto -aliohjelman ja nollapiste siirretään eri kohtaan.

7 OMAT POHDINNAT

Tavoitteena oli tuottaa Seinäjoen ammattikorkeakoululle Kitamura HX500i vaaka-karaiselle työstökeskukselle konesimulointimallin käyttöönotto sekä nollapisteen siirto -aliohjelma. Tämän ansiosta työstö eri suunnista ja kulmista helpottui huomattavasti ja koneenkäyttö muuttui turvallisempaan suuntaan simuloinnin ansiosta. Vanhalla tyyllillä tehtäessä työstökoneita käytettäessä ja varsinkin pöytää käännettäessä oli otettu kappaleen käännettylle sivulle uusi nollapiste ja tehty sille vaadittavat operaatiot. Tähän kului huomattavasti enemmän aikaa kuin nykyisessä tyyllissä, jossa kaikki työstöoperaatiot voidaan tehdä samaan ajettavaan ohjelmaan ja ajaa ne kertaheitolla läpi, pois lukien tietysti kappaleen kiinnityksestä johtuvan toisen puolen viimeistelyt. Ajansäästö on siis yksi huomattavasti helpottava tekijä uudella tyyllillä, mutta helpotusta myös luo vaivattomuus asetuksia tehdessä ja työstöoperaatioita luotaessa CAM-ohjelmistolla.

Konesimuloinnin käyttöönoton myötä voidaan turvallisesti simuloida työstöoperaatiot sekä koneen käyttäytyminen ennen kuin edes käynnistetään varsinaista työstökoneita ollenkaan. Simuloinnin ansiosta saadaan selville reaaliaikaiset koneistuksiin kuluvat ajat, jolloin voidaan suunnitella ajankäyttö koneistuksissa paremmin. Koska simulointi tapahtuu varsinaisella työstökoneen käyttämällä G-koodilla, koko simulointitapahtuma ja työstökoneen käyttäytyminen on realistista ja siihen voidaan todellakin luottaa. Konesimulointia ei myöskään ole joka kerta pakko käyttää, vaan voidaan tehdä huoletta ohjelmia ilman sitä. Suositeltavaa sen käyttäminen kuitenkin on, sillä se ei vie paljoakaan enemmän aikaa kuin ilman simulointia tapahtuva ohjelmointi. Ainoa aikaa vievä toimenpide on kappaleen paikoitus oikeaan kohtaan koneeseen nähden, minkä jälkeen koko kone voidaan esimerkiksi piilottaa ja tehdä työstöoperaatiot. Vasta lopuksi tuodaan työstökone näkyviin ja siirrytään simulointipuolelle, laitetaan törmäystarkastelut päälle ja suoritetaan simulointi.

Kokonaisuudessaan tämä opinnäytetyö oli hyvinkin opettavainen tapahtumaketju. Koko ajan tuli uutta asiaa esille ja tiedonhakua joutui suorittamaan hyvinkin monella eri osa-alueella, vaikka osa asioista olikin jo entuudestaan tuttua. Uutta asiaa tuli, kun liitettiin rotaatiomatriisilaskut nollapisteen siirtoon. Aikaa sai käyttää huomatta-

vasti laskutoimitusten tutkimiseen ja mahdollisten ongelmatilanteiden ratkaisemisiin. Apua kuitenkin oli aina tarvittaessa saatavilla, joten ei tarvinnut jäädä turhan kauaksi aikaa pohtimaan vaikeita kohtia. Postprossessorin tekemisessä painottuivat muutamit muokattavat kohdat enemmänkin TCL-koodin puolelle, joten kokonaisuudessaan silläkin osa-alueella tuli huomattavasti uutta asiaa, jota voi tulevaisuudessa helposti hyödyntää, mikäli kyseistä alaa jatkaa. Uuteen postprossessorityökaluun tutustuminen oli myös avaava kokemus ja mikäli se olisi tapahtunut hiukan aiemmin, oltaisiin Kitamuran postprossessori tehty Post Configuratorilla uudelleen, jolloin jälki-muokkaukset olisivat tulevaisuudessa paremmin tehtävissä. Konesimulointimallin määrittäminen oli jo entuudestaan jollain tavalla tuttua, mutta alusta alkaen sen tekeminen oli tarkkaa ja opettavaista tekemistä. Työskentely sen parissa oli myös käytännön-läheistä, koska määritettävät asiat haettiin suoraan työstökoneen ääressä. Koko koneen näkeminen avaa huomattavasti helpommin tarvittavat asiat ja muutenkin kokonaisuuden hahmottaa lähityöskentelyssä paremmin.

Tietoa haettiin muun muassa Seinäjoen ammattikorkeakoulun kattavasta kirjavalikoimasta, mutta varsinaisesti postprossessoreista ja simuloinnista ei juurikaan kirjallista tietoa löytynyt. Itse NC-koneisiin ja koneistukseen liittyen tietoa löytyikin sitten riittämiin asti. Internetin avulla löytyi joitain apuja matriisilaskuihin sekä myös jonkun verran teoriaa teoriaosaan. Suurimpana apuna kuitenkin olivat IDEAL PLM:n sisäiset ohjeet, joita koitettiin hyödyntää mahdollisimman paljon.

LÄHTEET

Bajd, T., Mihelj, M. & Munih, M. 2013. Introduction to Robotics. Springer.

GROB-WERKE. 2019. Products. [Verkkosivusto]. GROB-WERKE GmbH & Co. KG. [Viitattu 12.3.2019]. Saatavana: <https://www.grobgroup.com/en/products/product-range/system-solutions/g-modules/g300/>

Haggrén, H. & Rönholm, P. 2004. Maa-57.301 Fotogrammetrian yleiskurssi. Luentomoniste. 28.9.2004. Aalto. Saatavana: https://foto.aalto.fi/opetus/301/luennot/301_4_2004.pdf

IDEAL PLM. 2019. Yritysinfo. [Verkkosivusto]. Ideal Product Data Oy. [Viitattu 4.3.2019]. Saatavana: <https://ideal.fi/uPage/Yritysinfo>

IDEAL PLM ohje. 2019. Sisäinen materiaali. [www-dokumentti]. Ideal Product Data Oy. [Viitattu 13.3.2019]. Saatavana: IDEAL PLM intra.

Mustonen, M. & Pikkarainen, E. 2010. Numeerisesti ohjatut työstökoneet: NC-tekniikan perusteet. 2. Painos. Helsinki: Opetushallitus.

Notepad++. 2019. [Tietokoneavusteinen tekstieditori].

NX. 2019. NX CAM. [Tietokoneavusteinen valmistusohjelma].

Solid Edge. 2019. [Tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma].

Pervilä, M. 2019. Digitaaliset kaksoset ovat it:ssä nyt kuuminta uutta. [Verkkoleh-tiartikkeli]. Tivi 4.2.2019. [Viitattu 12.3.2019]. Saatavana: <https://www.tivi.fi/CIO/digitaaliset-kaksoset-ovat-it-ssa-nyt-kuuminta-uutta-6757148>

Post Builder. 2019. [Tietokoneavusteinen postprosessorintekotyökalu].

Post Configurator. 2019. [Tietokoneavusteinen postprosessorintekotyökalu].