



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Santeri Toppari

CAM-ohjelman käyttöönotto

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Santeri Toppari

Työn nimi alaotsikoineen: CAM-ohjelman käyttöönotto

Ohjaaja: Juho Yli-Suomu

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 30

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli ottaa Mastercam-ohjelmisto käyttöön Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorion Mazak Integrex 200 IV S -sorvauskeskukseen sekä luoda kattava paketti opetusmateriaalia ohjelmiston käyttöön. Seinäjoen ammattikorkeakoulun Mazak-sorvauskeskuksella ei ollut CAM-ohjelmistoa käytössä, ja ohjelmat luotiin Mazakin omalla Mazatrol-ohjauksella. CAM-ohjelmiston käyttö helpottaa kappaleiden koneistusohjelmien luontia sekä tuo simulointien törmäystarkastelun uudelle tasolle. Käyttöönottoa ajatellen konelaboratoriolle oli jo ennakkoon hankittu lisenssi kyseistä ohjelmistoa varten.

Opinnäytetyön tuloksena Mastercam-ohjelmisto tuli käyttöön Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorion Mazak Integrex 200 IV S -sorvauskeskukseen ja CAM-ohjelmiston käyttöön tehtiin tarvittavat opetusmateriaalit jatkokäyttöä varten.

¹ Asiasanat: CAM, CNC-koneet, lastuava työstö

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Product Engineering

Author: Santeri Toppari

Title of thesis: CAM-program implementation

Supervisor: Juho Yli-Suomu

Year: 2024

Number of pages: 30

Number of appendices: 0

The purpose of the thesis was the implementation of CAM-program, for the machine and production technology laboratory at Seinäjoki University of Applied Sciences and creating instructions for the program. The target machine for the CAM-program implementation was Mazak Integrex IV S machining centre. There was no CAM-program for the Mazak machining centre and programs were handwritten with Mazatrol control. The use of CAM-programming is a more efficient way to make programs for CNC-machines. The CAM-program includes machine simulation that helps operators for collision checks. The laboratory already had license for the CAM-program and the only thing left was the implementation.

As a result of the thesis the implementation of CAM-program for Mazak Integrex IV S was ready. Also, instructions of CAM-programming were made for the laboratory.

¹ Keywords: CNC-machine, CAM, Chip removal

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kvaluuttelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite	8
1.3 Työn rakenne	8
2 TEORIAA TYÖSTÖKONEISTA JA NIIDEN OHJELMOINNISTA	9
2.1 Numeerinen ohjaus	9
2.2 NC-ohjatut sorvit ja sorvauskeskukset	9
2.3 NC-koneiden akselit	10
2.4 NC-työstökoneen koordinaatiston nollapisteet	11
2.4.1 Referenssipiste	11
2.4.2 Ohjelman nollapiste	12
2.4.3 Työkalun nollapiste	13
2.5 NC-ohjelma	14
2.6 CAM-ohjelmointi	15
2.7 Postprosessori	16
2.8 Mazak Integrex 200 IV S	17
2.9 Keskusteleva ohjaus (Mazatrol)	18
3 UUSI JÄRJESTELMÄ JA SEN KÄYTTÖÖNOTTO	19
3.1 Suunnitelma käyttöönotosta	19
3.2 Demokappaleen suunnittelu ja mallintaminen	19
3.3 3D-työkalujen luonti Mastercamiin	20
3.4 Rouhintasorvauksen työstöratojen luonti kappaleeseen	20
3.5 Mastercam-ohjelman simulointi ja postprosessointi	23
3.6 Jyrsittävän kappaleen ohjelmointi ja koneistus	25

<u>4</u> <u>YHTEENVETO JA POHDINTA</u>	28
<u>4.1</u> <u>Yhteenveto</u>	28
<u>4.2</u> <u>Pohdinta</u>	28
<u>LÄHTEET</u>	30

Kuvaluettelo

Kuva 1. XYZ-koordinaatisto.	11
Kuva 2. Esimerkki sorvattavan työkappaleen nollapisteestä.	12
Kuva 3. Esimerkki työstökeskuksella valmistettavan työkappaleen nollapisteestä.	13
Kuva 4 Esimerkki käsin kirjoitetusta ohjelmasta.	14
Kuva 5. Mazak Integrex 200 IV S.	17
Kuva 6. Mallinnettu demokappale.	19
Kuva 7. Sorvaustyökalun 3D-malli.	20
Kuva 8. Sorvausprofiilin ketjutus.	21
Kuva 9 Rouhintasorvauksen parametrit.	22
Kuva 10. Demokappale työstöratujen kanssa.	23
Kuva 11. Box-formaatti kierteytyksestä.	24
Kuva 12 .Canned-formaatti kierteytyksestä.	24
Kuva 13. Koneistettu demokappale.	24
Kuva 14. Mallinnettu tangonkiinnike.	25
Kuva 15. Tangonkiinnike työstöradoilla.	26
Kuva 16 Koneistettu tangonkiinnike.	27

Käytetyt termit ja lyhenteet

CAM	Computer Aided Manufacturing. Tietokoneohjelmalla avustettua työstöratojen ohjelmointia CNC-koneille.
CNC	Computer Numerical Control. Numeerinen ohjaus, jolla ohjataan erilaisia työstökoneita.
CAD	Computer Aided Design. 3D-suunnittelussa käytettävän ohjelmiston yleistermi.
G-koodi	Ohjelmointikieli, jolla työstökoneetta ohjataan.
Mastercam	CAM-ohjelmisto.
Mill-turn	Työstökeskus, jossa sorvaus- ja jyräintämahdollisuus.
Postprosessori	Ohjelma, joka muuttaa CAM-ohjelmassa luodut työstöradat G-koodiksi.
Mazak integrex 200 IV S	5-akselinen sorvauskeskus.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön aiheena on Mastercam-ohjelman käyttöönotto Seinäjoen ammattikorkeakoulun (myöhemmin SeAMK) konelaboratorion 5-akseliseen Mazak Integrex 200 IV S -sorvauskeskukseen. Tähän asti ohjelmointi on tapahtunut käsin Mazakin omalla Mazatrol matrix -ohjauksella. Laboratorion muita työstökoneita ohjataan tällä hetkellä Mastercamilla. Konelaboratoriolla on ollut käytössä aiemmin NX-Cam. Konelaboratoriolla on valmiiksi Mastercamin mill-turn lisenssi Mazakiin, ja siitä on ollut myös koulutus. Jäljelle on jäänyt ohjelman käyttöönotto ja se osoittautui sopivaksi aiheeksi opinnäytetyölle. Työssä on tarkoitus suorittaa käyttöönotto alusta loppuun ja luoda Mazakin sekä Mastercamin käytöstä opetusmateriaalia.

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on:

- Saada tiedonsiirto toimimaan tietokoneen ja työstökoneen välillä
- Mazakin työkalujen luonti Mastercamiin
- Postprosessorin toiminnan testaus mahdollisimman laajasti erilaisilla työstöillä
- Demokappaleen suunnittelu ja toteutus
- Opetusmateriaalia demokappaleen ohjelmointiin

1.3 Työn rakenne

Johdanto (luku 1) sisältää työn taustan, tavoitteen, sekä rakenteen. Teoriaosuudessa (luku 2) käydään läpi numeerista ohjausta, sekä numeerisesti ohjattuja työstökoneita. Toisessa luvussa keskitytään erityisesti CAM-ohjelmointiin ja sen eri osa-alueisiin. Luvussa 3 käydään läpi CAM-ohjelmoinnin vaiheita, sekä demokappaleiden valmistus. Luku 4 sisältää yhteenvedon ja pohdinnan.

2 TEORIAA TYÖSTÖKONEISTA JA NIIDEN OHJELMOINNISTA

2.1 Numeerinen ohjaus

Nykyaikainen numeerinen ohjaus alkoi kehittyä 1900-luvun puolessavälissä (Smid, 2007, s.1). Sitä ei kuitenkaan sovellettu tuotantokäytössä ennen 1960-luvun alkua. Numeerinen ohjaus alkoi yleistyä toden teolla vuonna 1972 ja vuosikymmen myöhemmin CNC-muodossa, kun mikrotietokoneet saapuivat markkinoille.

Työstökone, jota ohjataan numeerisesti, tarvitsee tehdyn ohjelman, jonka perusteella se suorittaa tarvittavat työstöt kappaleeseen (Pikkarainen & Mustonen, 2010). Ohjelma voidaan kirjoittaa käsin esimerkiksi G-koodina, jolloin siinä olevat eri työstövaiheet koostuvat kirjainten, numeroiden ja eri symbolien välisistä ennalta määritellyistä yhdistelmistä. Ohjelman kirjoittamista varten tarvitaan valmistuspiirustus kappaleesta, josta ilmenee koneistuksen kannalta vaadittavat mitat. Näiden mittojen perusteella pystytään kirjoittamaan ohjelma, jota numeerisesti ohjattu työstökone ymmärtää. Ohjelma voidaan luoda myös CAM:illä, jolloin työstöradat luodaan 3D-malliin CAM-ohjelmassa. CAM:illä tehty ohjelma täytyy postprosessoida koodiksi, jota numeerisesti ohjattu työstökone lukee.

2.2 NC-ohjatut sorvit ja sorvauskeskukset

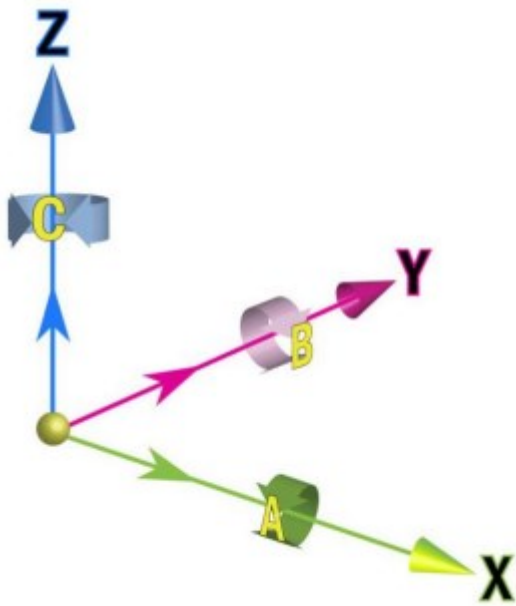
NC-sorveissa on yleisesti kaksi akselia, joita ohjataan numeerisesti (Pikkarainen & Mustonen, 2010, s. 27). Työkalut asetetaan työkalurevolveriin. NC-sorvien kehittyminen alkoi, kun huomattiin, että sorvissa valmistettavat pyörähdyssymmetriset kappaleet tarvitsevat useasti myös porausta ja jysintää. NC-sorveihin alettiin kehittää pyöriviä työkaluja, jolloin niitä alettiin kutsua sorvauskeskuksiksi. Sorvauskeskuksissa koneistettavat kappaleet tulevat usein valmiiksi yhdessä koneessa. Pyörivien työkalujen kara pystytään lukitsemaan myös sorvauskaraksi, kun kappaleiden poraukset tai jysinnät on suoritettu.

Seuraavaksi ongelmaksi muodostuivat kappaleet, joita täytyy koneistaa kahdesta suunnasta. Kappaleen kääntö aiheuttaa koneen operaattorille lisätöitä, kun toisesta päästä sorvattu kappale joudutaan ottamaan pois koneesta ja asettamaan uusi aihio paikalle (Pikkarainen &

Mustonen, 2010, s. 28). Tälle puoliksi sorvatulle kappaleelle täytyi järjestää välivarasto. Kaksoisakselinen sorvi kehitettiin ratkaisuksi tähän ongelmaan. Ulkoisesti tällainen sorvi muistuttaa kahta sorvia vastakkain. Sorvissa on silloin kaksi karaa 1. ja 2. kara, sekä kaksi revolveria tai kääntyvä B-akseli. B-akselilla varustetussa sorvissa on erillinen työkalumakasiini, sekä automaattinen työkalunvaihtaja. Kappaleen ollessa koneistettuna 1. karalla. 2. kara lähestyy kappaletta samalla synkronoiden karojen pyörintänopeuden. Tämän jälkeen kappale katkaistaan katkaisuterällä ahiosta ja 2. kara liikkuu takaisin alkuperäiseen positioon. Kahdella revolverilla varustettu sorvauskeskus pystyy aloittamaan uuden kappaleen koneistuksen 1. karalla samalla, kun toinen revolveri ajaa toista kappaletta valmiiksi 2. karalla. Kääntyvällä B-akselilla varustetulla sorvilla ei pystytä ajamaan kahta kappaletta samaan aikaan, vaan B-akseli kääntyy Y-akselin ympäri 2. karalle ja näin suorittaa koneistukset kappaleen toiselle puolelle.

2.3 NC-koneiden akselit

NC-koneiden akselit määräytyvät Z-akselin mukaan, joka on aina karan suuntainen (Pikkarainen & Mustonen, 2010, s. 56). Koneiden lineaariset liikkeet ovat X, Y ja Z. Lineaaristen akselien ympäri kiertyvät akselit määritellään seuraavasti: X-akselin ympäri A, Y-akselin ympäri B ja Z-akselin ympäri C. Sorvauskeskuksissa 1. kara on C-akseli, koska se pyörii karansuuntaisen Z-akselin ympäri. Kuva 1 havainnollistaa lineaari- ja pyörähdysakselit. Apuakseleiden esimerkiksi 2. Karan määrittämiseen käytetään aakkosten loppupään kirjaimia U, V tai W. Myös nämä ovat Z-akselin suuntaisia.



Kuva 1. XYZ-koordinaatisto.

2.4 NC-työstökoneen koordinaatiston nollapisteet

NC-työstökoneen koordinaatiston nollapisteet ovat kiinteitä sekä siirrettäviä (Maaranen, 2012, s.378). Koordinaatiston nollapisteitä käytetään ohjelman teossa sekä työstökoneen luistien paikoittamisessa. NC-työstökoneiden koordinaatiston perustana toimii koneen kiinteä nollapiste. Kaikki muut nollapisteet perustuvat koneen kiinteään nollapisteeseen.

2.4.1 Referenssipiste

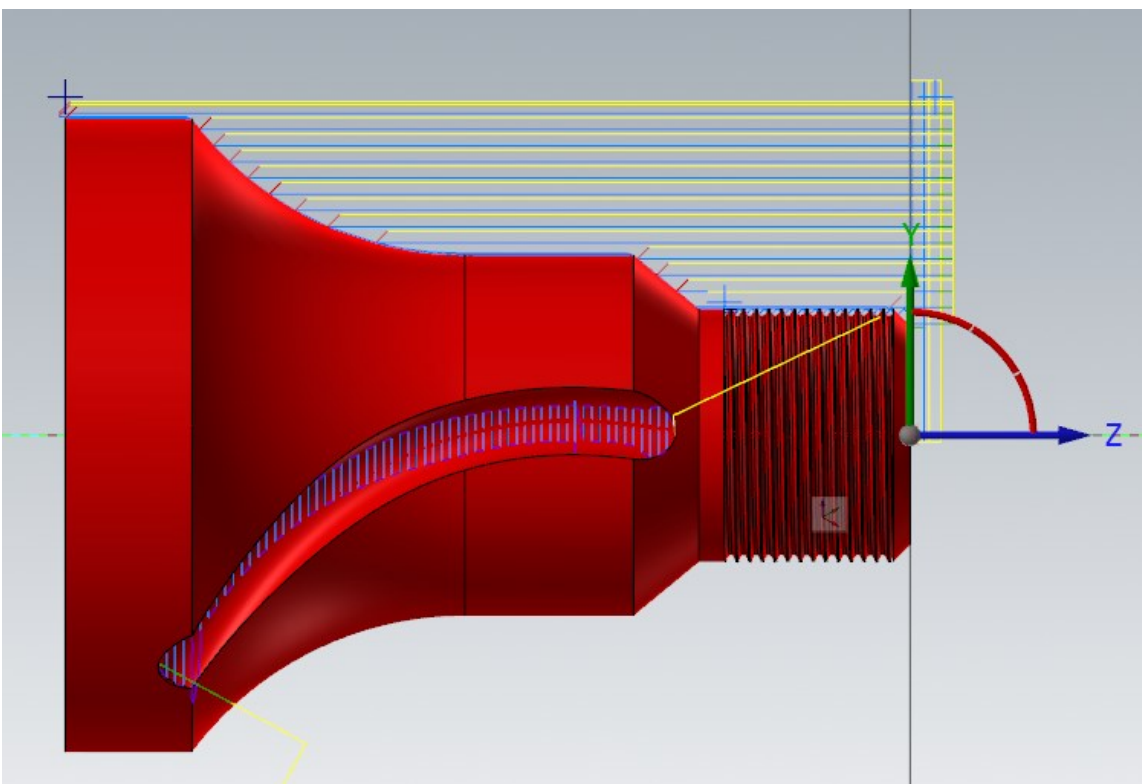
Referenssipiste on piste NC-koneen liikeradalla, johon koneen luistit voidaan aina palauttaa (Maaranen, 2012, s. 379). Referenssipiste on määritelty rajakytkimillä lähelle koneen kiinteää nollapistettä. NC-koneen käynnistyksen jälkeen ensimmäisenä kone ajetaan referenssipisteeseen.

Referenssipiste on NC-koneen mittausjärjestelmän tarkastuspiste (Maaranen, 2012, s. 379). Ohjauksesta katoaa sijaintitieto aina ohjauksen sammuttua, joten uudelleen käynnistyksen jälkeen kone löytää sijaintinsa referenssipisteen kautta uudelleen. Ohjaus laskee referenssipisteen sijainnin aina kiinteän nollapisteen suhteen.

2.4.2 Ohjelman nollapiste

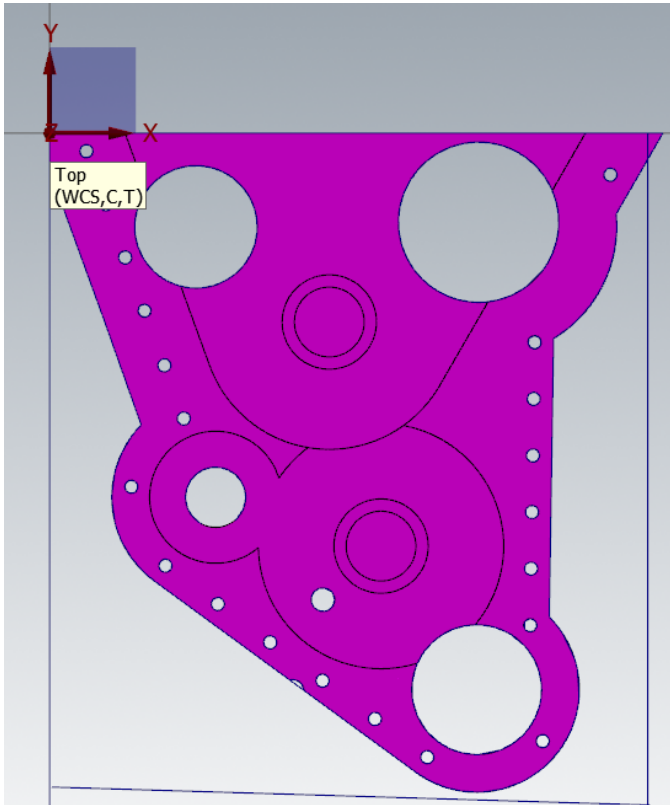
Ohjelman nollapiste tarkoittaa pistettä, jonka mukaan ohjelmassa olevat mitat annetaan (Maaranen, 2012, s. 379). Ohjelmoija pystyy valitsemaan nollapisteen täysin vapaasti. Ohjelman nollapiste sijoitetaan haluttuun kohtaan työkappaleessa nollapisteen siirtotoiminnolla.

Sorvauksessa työkappaleen nollapiste sijoitetaan kappaleen etupintaan tai takapintaan, kuitenkin aina karan keskiakselille (Maaranen, 2012, s. 379). Kuvassa 2 työkappaleen nollapiste on sijoitettuna kappaleen etupintaan.



Kuva 2. Esimerkki sorvattavan työkappaleen nollapisteestä.

Työstökeskuksissa työkappaleen nollapiste valikoituu kappaleen muodon tai mitoituksen kannalta sopivaan paikkaan, useimmiten XY-suunnassa olevaan kulmaan ja Z-suunta kappaleen valmiiseen pintaan (Maaranen, 2012, s. 379). Kuvassa 3 työkappaleen nollapiste on sijoitettuna XY-suunnassa olevaan kulmaan.



Kuva 3. Esimerkki työstökeskuksella valmistettavan työkappaleen nollapisteestä.

2.4.3 Työkalun nollapiste

Työkalun nollapiste ja NC-sorvin tapauksessa työkalurevolverin nollapiste määrittyy referenssiin ajossa (Maaranen, 2012, s. 379). Työkalun nollapisteen suhteen määritellään työkalukorjainten arvot. Ohjaus korjaa työkalun kärjen paikoitusta, kun työkalu otetaan ohjelmassa käyttöön.

2.5 NC-ohjelma

```

N1 G50 S3000 T101 M42
N2 G96 S250 M3
N3 G0 X40.Z2.M8
N4 G1 Z-13.F0.2
N5 X60.Z-42.
N6 Z-60
N7 G2 X70.Z-65.R5.
N8 G1 X87.
N9 G0 X120.Z40.M9
N10 T100
N11 M30
%
```

Kuva 4. Esimerkki käsin kirjoitetusta ohjelmasta.

Kuvan 4 ohjelman vaiheet selitettynä. N1 G50 S3000 tarkoittaa karan maksiminopeuden rajoitusta 3000 kierrokseen minuutissa (Vesamäki, 2014, s.94). T101 on käsky työkalun vaihdolle. T1 on työkalun numero ja 01 työkaluaseman kompensointi. M42 valitsee karan pyörimisnopeusalueen. M-, S- ja T-käskyt toteutuvat samanaikaisesti.

N2 G96 tarkoittaa vakioleikkuunopeutta, jolloin ohjelma ottaa huomioon sorvattavan kappaleen ulkohalkaisijan pienentymisen säilyttäen saman leikkuunopeuden. S250 tarkoittaa tässä kohtaa jatkuvaa 250 m/min leikkuunopeutta. M3 käynnistää karan normaalisuuntaan ja pyörintänopeus asettuu arvoon, joka vastaa 250 m/min leikkuunopeutta.

N3 G0 pikaliikkeellä työkalu liikkuu asemaan X.40.Z2 kappaleen ulkopuolelle. M8 kytkee las-tuamismesteen päälle. Kara kiihdyttää pyörimisnopeuden arvon vastaamaan 250 m/min 40 mm sorvaushalkaisijalle.

N4 40 mm lieriön sorvaus. Työkalu liikkuu syöttönopeudella 0.2 mm/r Z-13 asemaan Z-akselin suuntaisesti.

N5 Kartion sorvaus. Työkalu liikkuu syöttönopeudella X60.Z-42 asemaan.

N6 60 mm lieriön sorvaus.

N7 R5 säteellä oleva pyöristys. Ympyränkaariliike G2 neljännesympyrä, lopetuspiste X70. Z-65.

N8 85 mm taso. Lopetuspiste 1 mm kappaleen ulkohalkaisijasta.

N9 Pikaliike G0 työkalunvaihto asemaan X120.Z40. M9 pysäyttää lastuamisnesteen samanaikaisesti.

N10 T100 poistaa työkalukorjaimet.

N11 M30 ohjelman lopetus, joka palauttaa ohjauksen perustilaan ja palaa ohjelman alkuun.

2.6 CAM-ohjelmointi

CAM eli Computer Aided Manufacturing on tietokoneavusteinen ohjelma, jolla ohjelmoidaan työstökoneen työstöratuja (Jianbin, 2018, s. 81). CAD-ohjelmalla luodut mallit tuodaan CAM-ohjelmaan, jossa 3D-malliin luodaan työstöradat eri työkaluille. CAM:in laajempi määritelmä voi sisältää tietokoneohjelmien käytön valmistussuunnitelman määrittelyä, työkalusuunnittelua, CAD-mallin valmistelua, NC-ohjelmointia tai simulointia. Suunnitelma toteutetaan sitten tuotantoympäristössä, kuten suorassa numeerisessa ohjauksessa (DNC), työkalunhallinnassa tai CNC-työstössä. Kapeammasta näkökulmasta CAM tunnetaan tietokoneohjelmoidusta työstöstä. Se on yksinkertaisesti tietokoneohjelman käyttöä koneiden ohjaamiseen kappaleiden valmistuksessa. Sen pääasiallinen tarkoitus on luoda nopeampi tuotantoprosessi sekä tarkempia mittoja ja materiaalin yhdenmukaisuutta käyttäen vain tarvittavaa aihokokoa (vähentäen näin hukkaa) samalla, kun energiankulutusta vähennetään. Tietokonepohjainen CAD/CAM-ohjelmisto kehittyi monimutkaisemmaksi, joten on vaikeaa päättää, mitä tarvitaan. Ohjelmassa oleva ongelma voi vahingoittaa kalliita työstökoneita ja työkaluja. Ohjelman tarkastusta varten pystytään käyttämään tietokonesimulaatiota, jossa selviää mahdolliset virheet ohjelmassa. Erilaisilla teollisuuden aloilla valmistajat luottavat CAMi:n kykyihin tuottaa laadukkaita osia.

Tietokoneavusteinen suunnittelu ja tietokoneavusteinen valmistus (CAD/CAM) hyödyntävät tietokoneita kappaleiden piirtämisessä sekä työstöratojen luonnissa (Evans, 2016. s.295). Työstöradat luodaan valitsemalla geometria CAD:illa piirretystä kappaleesta, joka määrittää muodot ja miten ne koneistetaan. Piirtäminen CAD:ssa tarkoittaa yksinkertaisesti piirustuksen luomista käyttäen viivoja, kaaria, ympyröitä, pisteitä ja niiden asettelua toisiinsa nähden näytöllä. Yksi suurimmista CAD/CAM:n hyödyistä on ajan säästö. Se on paljon tehokkaampaa kuin CNC-koodin käsin kirjoittaminen rivi riviltä.

CAD/CAM on nykyään vakiintunut tapa luoda mekaanisia piirustuksia ja ohjelmia tietokoneohjatuille CNC-työstökoneille (Evans, 2016, s. 295). CAD on maailmanlaajuinen standardi piirustusten luomiseen. Suunnittelijat eivät enää piirrä käsin, koska tietokoneiden piirustusohjelmat ovat kehittyneet helppokäyttöisiksi ja ohjelmia on helposti saatavilla. Suunnittelijat voivat luoda tarvittavat piirustukset ja jakaa ne elektronisesti valmistusosaston kanssa. Piirustukset tallennetaan yleiseen tiedostomuotoon, kuten esimerkiksi Initial Graphics Exchange Specification (IGES), Standard for the Exchange of Product model data (STEP), Stereo Lithographic (STL) ja Drawing Exchange Format (DXF). Suunnittelukentällä jatkuu valtava kehitys, ja 3D-mallit ovat yleisempiä kuin kaksiulotteiset piirustukset.

Käytettäessä CAD/CAM:ia, kappale voidaan mallintaa alusta alkaen tai tuoda CAD-ohjelmasta käyttäen aiemmin mainittuja tiedostomuotoja (Evans, 2016, s. 295). Piirustuksen ei tarvitse olla mitoitettu tätä toimenpidettä varten, mutta osan tulee olla oikeassa mittakaavassa. CAD/CAM-operaattori määrittää työkalut ja niiden käyttöjärjestyksen luodessaan työstörataa. Markkinoilla on monia CAD/CAM-ohjelmia. Suosituimmat niistä ovat helppokäyttöisiä ja niillä on erinomainen palvelu, tuki sekä vahva tausta luotettavuudesta. CAD/CAM:in hyödyntämiseksi on tärkeää ymmärtää koneistusprosessit laajalti.

CAM-ohjelmointi mahdollistaa pienemmät tuotantokustannukset, kun valmistusprosessi ei vaadi työstökeskukselle ohjelmointia osaavaa operaattoria (Jianbin, 2018, s. 81). CAM-ohjelmaa käyttävä yritys ei välttämättä tarvitse yhtä ohjelmoijaa enempää, koska CAM mahdollistaa ohjelmoinnin etänä. Sarjavalmistuksessa sarjojen välille ei muodostu odotusaikaa, koska ohjelmoija pystyy tekemään ohjelman edellisen sarjan koneistuksen aikana. Yksi ohjelmoija pystyy ohjelmoimaan useampaa konetta, koska sarjojen pituudet ovat yleensä riittävän pitkiä ja aikaa jää tulevien sarjojen ohjelmien tekoon. Matalampien tuotantokustannusten lisäksi CAM-ohjelmiston käytössä on useita muita etuja. CAM-ohjelmointi poistaa tarpeen tehdä valmistuspiirustuksia CAD-malleista. CAM-ohjelma mahdollistaa nopeat muutokset tuotesuunnittelulle. CAM-ohjelman avulla monimutkaisten kappaleiden valmistus helpottuu merkittävästi.

2.7 Postprosessori

Postprosessori on yksinkertaisesti pelkkä tekstitiedosto, joka muuttaa CAM-ohjelmalla luodut työstöradat G-koodiksi, jota valittu työstökone ymmärtää (Tormach, i.a.). Postprosessorit

luodaan konekohtaisesti, jotta postprosessorin luoma koodi on varmasti yhteensopivaa työstökoneen ohjauksen kanssa. 4- ja 5-akselisten työstökoneiden postprosessorit vaativat usein paljon hienosäätöä, jotta päästään toimivaan lopputulokseen. Postprosessorin testausta ei kannata aloittaa suoraan tuotantokappaleella (Camcut, i.a.). Postprosessorin testaus kannattaa aloittaa yksinkertaisella kappaleella, joka sisältää yleisimmät koneistussuunnat ja työkierrot.

2.8 Mazak Integrex 200 IV S

Mazak Integrex 200 IV S on 5-akselinen numeerisesti ohjattu CNC-sorvi varustettuna automaattisella työkalun vaihtajalla, pyörivillä työkaluilla, sekä C, Y- ja B-akselilla. 1. ja 2. karanmaksimipyörintänopeus on 5000 rpm. Sorvauspituus on 995 mm. Suurin pyörintähalkaisija johteiden päältä on 660–500 mm. Karaporaus on 76 mm. Kappaleen maksimipaino on 300 kg. 2. karan pituusliike (W) on 1050 mm. Työkalumakasiinin kapasiteetti on 20 työkalua. Työkalun vaihtoaika on 1.3 s. Pyörivien työkalujen maksimi pyörintänopeus on 12 000 rpm. Akseleiden liikkeet ovat: X-580 mm, Z-1045 mm, Y-+-80 mm, W-1050 mm ja B-225 astetta. Ohjauksena toimii Mazatrol Matrix suomenkieliselällä käyttöliittymällä. Kuvassa 5 Konelaboratorion Mazak Integrex 200 IV S.



Kuva 5. Mazak Integrex 200 IV S.

2.9 Keskusteleva ohjaus (Mazatrol)

CNC-koneen käsin ohjelmointia on pidetty tehottomana ja vaivalloisena käytäntönä. Piensarjojen kohdalla valinta oli lähes aina manuaalikone (Evans, 2016, s.399). Tämä ajattelutapa ei enää päde nykyään, suurelta osin keskustelevan ohjauksen kehityksen ansiosta.

Keskustelevaa ohjausta käytetään yhä laajemmin teollisuudessa ja, se on saatavilla useimmissa nykyaikaisissa työstökoneissa (Evans, 2016, s. 399). Suurimpana etuna on, että se antaa koneistajille kyvyn kirjoittaa ohjelmia koneella nopeasti ja helposti. Tyypillisesti ohjaus kysyy joukon kysymyksiä, joihin koneistajien tai ohjelmoijien on vastattava. Sitä kutsutaan myös kysyväksi ohjaukseksi. Ohjelma rakentuu kysytyjen kysymysten pohjalta. Useimmat ohjaukset, joissa on tämä optio, mahdollistavat työstöratojen tarkastuksen virheiden varalta simulaatiolla. Jos ohjelmassa on virheitä tai puuttuvia tietoja, ohjain ei suorita työstörataa, ja ohjelmoijien on löydettävä korjattava ongelma. Ohjelmavirheiden ilmetessä näytölle ilmestyy hälytysnumero, joka osoittaa, mikä ongelma on ja missä se esiintyy ohjelmassa. Tämä menetelmä on selvästi parempi virheiden löytämiseen kuin virheen paikantaminen jo koneistetusta osasta.

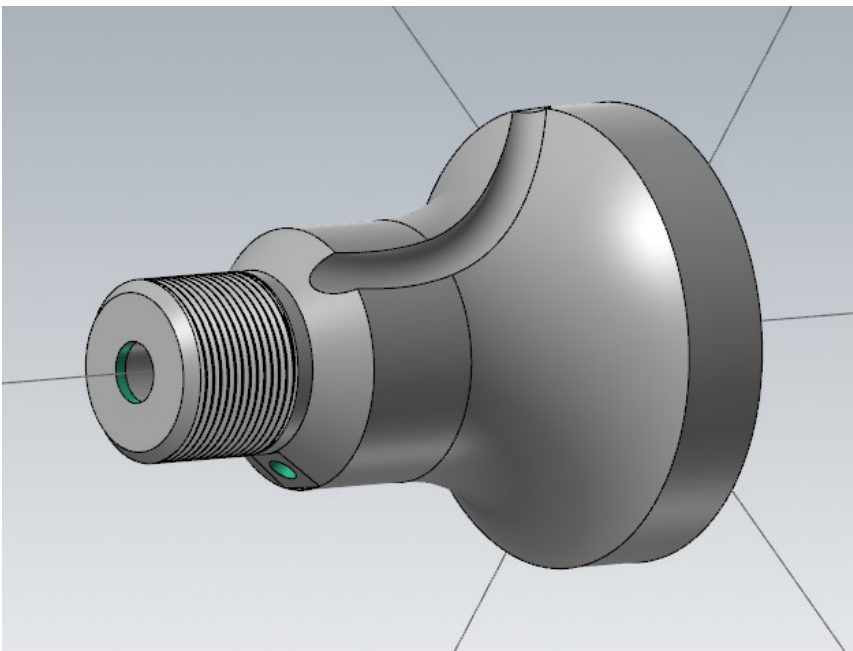
3 UUSI JÄRJESTELMÄ JA SEN KÄYTTÖÖNOTTO

3.1 Suunnitelma käyttöönotosta

Käyttöönotettava ohjelma oli Mastercam, koska se on jo käytössä konelaboratorion muissa työstökoneissa. CAM-ohjelmiston käyttöönottoa pohjustettiin hieman ennen varsinaista työn aloittamista. Alkuun mietittiin, mikä olisi järkevin tapa edetä työssä. Aiemmin pidetty Mastercam-koulutus toimi hyvänä pohjana käyttöönoton aloitukseen. Koulutuksen pohjalta alettiin suunnittelemaan demokappaleita, joihin tullaan luomaan ohjelmat Mastercamissa. Demokappaleita suunniteltiin kaksi.

3.2 Demokappaleen suunnittelu ja mallintaminen

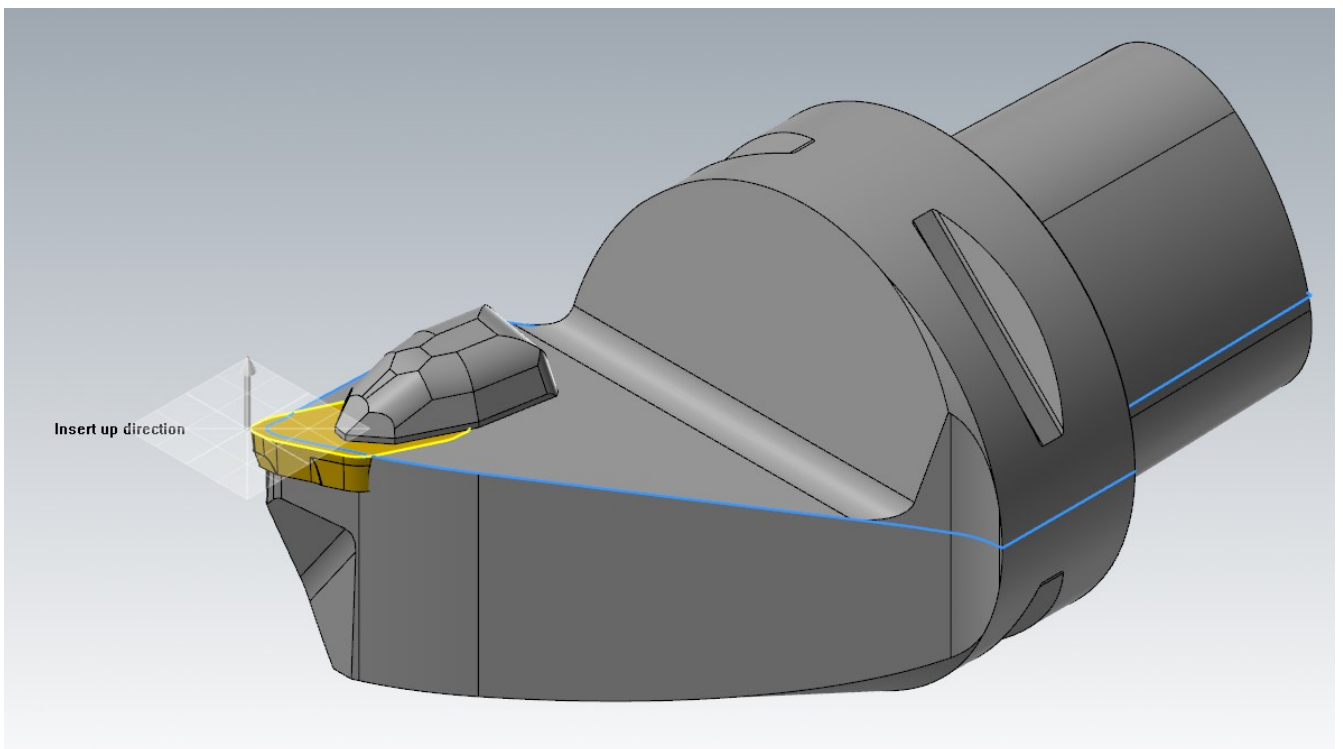
Ensimmäiseen demokappaleeseen suunniteltiin monipuolisesti erilaisia työstöjä, kuten muodon rouhinta, viimeistely, poraus, kierteytys ja jyrshintä. Kappaleeseen tuli luoda myös jyrkittävä muoto, jota työstettäisiin viidellä akselilla. Suunnittelussa täytyi kuitenkin huomioida ohjelman teon kannalta, että ensimmäisestä kappaleesta ei tule liian monimutkaista. Demokappaleen mallintamiseen käytettiin Solid Edge -piirustusohjelmaa. Kuvassa 6 mallinnettu demokappale.



Kuva 6. Mallinnettu demokappale.

3.3 3D-työkalujen luonti Mastercamiin

Ensimmäisenä vaiheena käyttöönotolle oli luoda 3D-työkalut Mastercam-työkalukirjastoon. 3D-työkalujen luonti helpottaa törmäystarkastelua simuloinnissa. Suurin osa Mazakin työkaluista ovat Sandvikilta ja 3D-mallit niihin löytyvät suoraan valmistajan verkkosivuilta STEP-muodossa. Työkalun luonti aloitetaan määrittelemällä, minkä tyyppisestä työkalusta on kyse. Sorvaustyökaluille määritellään ensimmäisenä pidin ja sen jälkeen teräpala. Pidin ja teräpala tulevat useimmiten yhtenä 3D-mallin kokoonpanona. Pitimen luonnissa kerrotaan pitimen halkaisija, sekä koneen puolen liitostaso. Pitimen määrittelyn ollessa valmis siirrytään teräpalan määrittelyyn, joka alkaa teräpalan valinnalla 3D-mallista. Teräpalalle valitaan kätsisyys, leikkaava taso, sekä tarvittaessa palan voi joutua suuntaamaan. Kuvassa 7 näkyy 3D-malli sorvaustyökalusta leikkaavan tasonmäärittelyn vaiheessa.



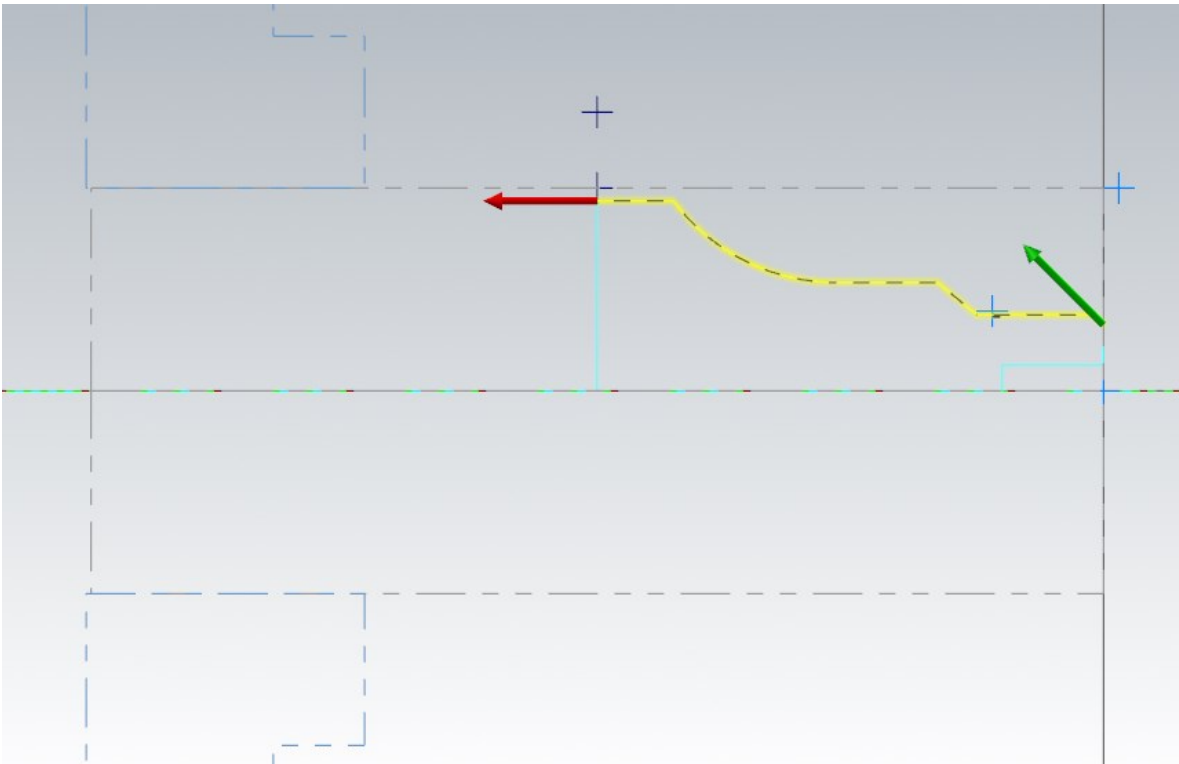
Kuva 7. Sorvaustyökalun 3D-malli.

3.4 Rouhintasorvauksen työstöratojen luonti kappaleeseen

Työstöratojen luonti alkaa työn määrittelyllä valmistettavalle kappaleelle. Kappale tuodaan Cam-ohjelmaan STP-muodossa. Tässä tapauksessa kappaleen tulee olla Z-akselin suuntaisesti pyörähdyskeskiössä, koska kyseessä on sorvattava kappale. Kappaleen suuntauksen

jälkeen valitaan konemalli, joka Mazakin tapauksessa on Mill-turn. Konemallin valintaa seuraa leukojen määrittely ja leuat määräytyvät aina koneistettavan kappaleen mukaan. Käytössä olevat leuat voidaan määrittellä Mastercamiin parametrisesti, solidimallina tai piirtämällä 2D-ketjuna. Leukojen määrittelyn jälkeen valitaan asetustyyppi, toisin sanoen se, kummalta karalta työstö aloitetaan. Asetustyyppien yhteydessä valitaan yksi seuraavista aiheityypeistä. Jatkuva tanko (poiminta, aihion veto, katkaisu), jatkuva tanko (poiminta, katkaisu), yksittäiset aihiot (poiminta), yksittäiset aihiot (ei poimintaa) tai kaksi erillistä kappaletta. Tämän kappaleen tapauksessa valinta oli, yksittäiset aihiot (ei poimintaa). Aihiotyyppien valinnan jälkeen valitaan kappaleen geometria 3D-mallista. Geometrian ollessa valittuna määritellään aihiolle mitat sekä työstövarat. Loppuun kerrotaan työkappaleen nollapiste ja valitaan koneistettavan kappaleen ulkonema pakasta, jonka mukaan nollapiste määrittyy.

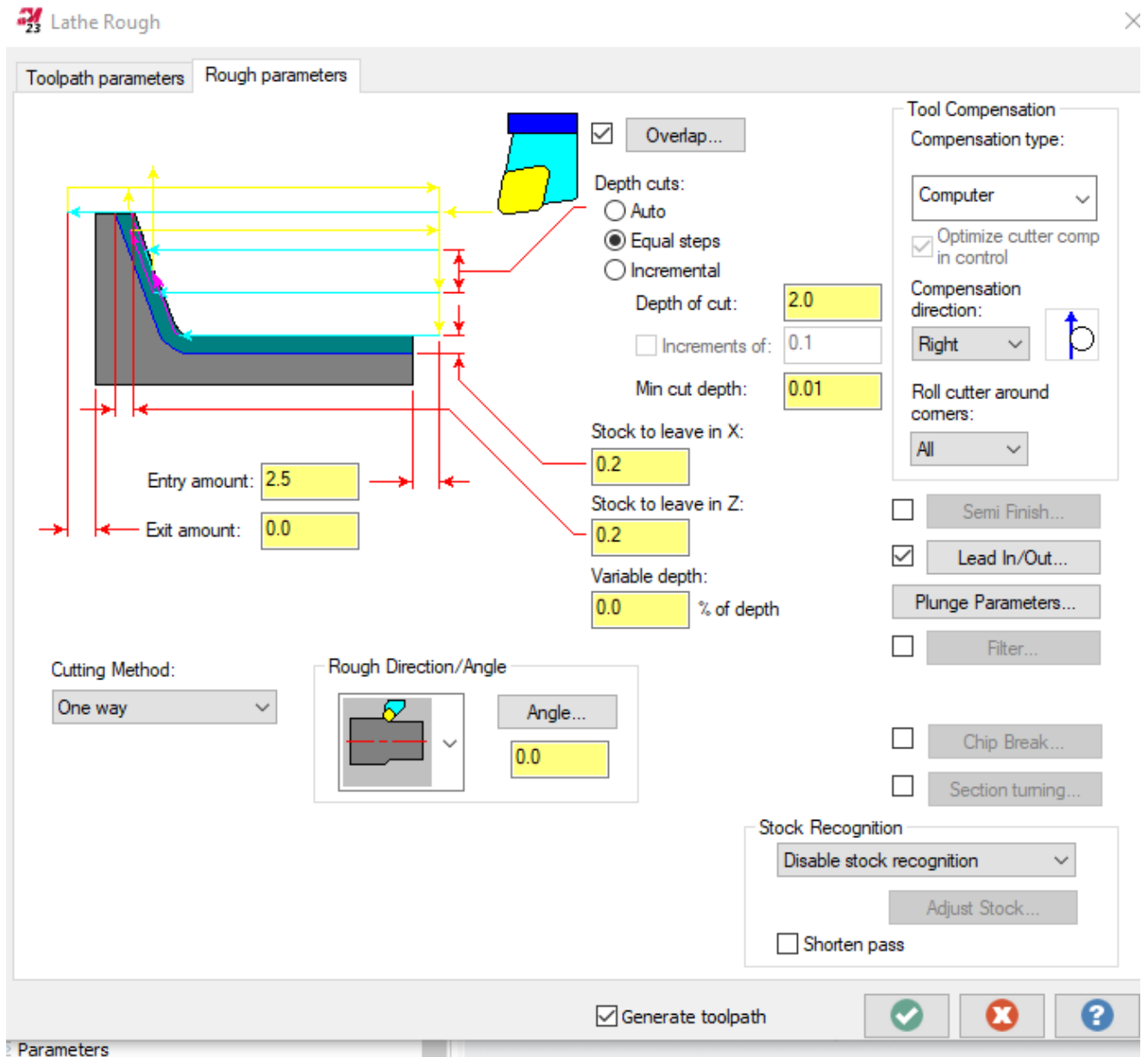
Työmäärittelyn ollessa valmis päästään itse rouhintasorvaukseen. Rouhintasorvauksen ensimmäisenä vaiheena kappaleesta ketjutetaan sorvattava muoto, kuten kuvassa 8.



Kuva 8. Sorvausprofiilin ketjutus.

Sorvausprofiilin ollessa valittuna, rouhintasorvaukseen valitaan työkalu Mastercam työkalukirjastosta. Työkalulle määritetään A- ja B-akseleiden kulmat, jonka jälkeen siirrytään

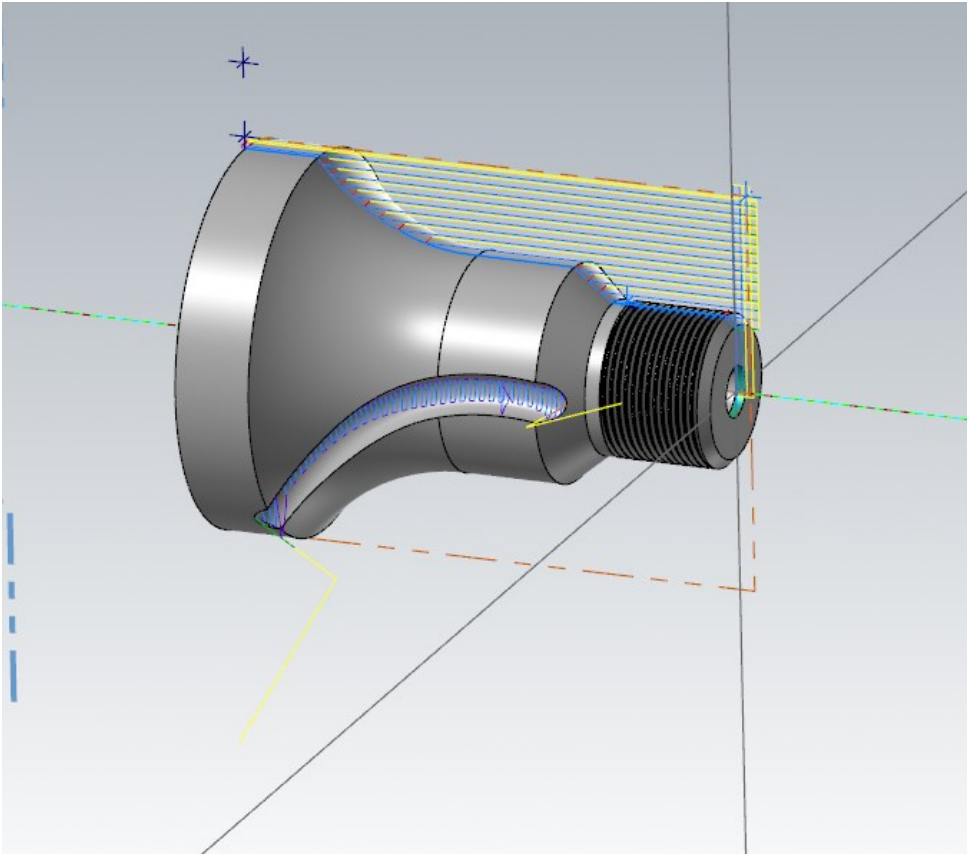
työstöarvoihin. Työstöarvot määräytyvät materiaalin ja teräpalan mukaan. Kuvassa 9 näkyy rouhintasorvauksen työstöarvot.



Kuva 9. Rouhintasorvauksen parametrit.

3.5 Mastercam-ohjelman simulointi ja postprosessointi

Työstöratojen ollessa luotuna kappaleeseen siirrytään simulointiin ja törmäystarkasteluun. Kuvassa 10 on kappale työstöradoilla valmiina simulointiin.



Kuva 10. Demokappale työstöratojen kanssa.

Simuloinnissa tärkeää on konesimulointimalli käytettävästä koneesta, joka tässä tapauksessa on Mazak Integrex 200 IV S. Konesimulointimalli mahdollistaa tarkan simuloinnin, jolloin törmäystarkastelu helpottuu. Jos simuloinnin aikana ei havaita törmäyksiä ja kaikki menee hyvin, voidaan postprosessoida luotu ohjelma G-koodiksi.

Postattu G-koodi lähetetään langattomasti Winscp:n kautta työstökeskukselle. Ohjelman lähetyksen jälkeen siirrytään työstökoneelle ja haetaan ohjelma aktiiviseksi. Ennen ohjelman ajamista täytyy ilmoittaa leukojen tiedot, ahion kiinnityshalkaisija ja kappaleen Z-off-set, joka tässä tapauksessa tarkoittaa työkappaleen nollapistettä. Kyseessä oli ensimmäinen ohjelma, joka luotiin Mastercamilla, joten se ajettiin kuiva-ajona mahdollisten postprosessorivirheiden vuoksi. Ohjelmassa oli havaittavissa ongelma ulkokierteen koneistuksessa, koska kone pysähtyi lähestymisen jälkeen. Ongelma ratkesi kuitenkin helposti, kun

kierteityksen ohjelmointivaiheessa oli NC-koodin formaatin valinta. Vaihtoehtoja oli neljä, joista oletusvalinta oli Canned. Muut vaihtoehdot olivat: Longhand, Box sekä Alternating. Testien jälkeen oli havaittavissa kaikkien muiden formaattien olevan toimivia tässä tapauksessa. Canned-formaatilla postprosessointaessa koodiin tuli G76 P010060 kierteityskäsäsky, jota Mazatrol ohjaus ei lukenut. Kuvissa 11 ja 12 formaattien väliset erot.

```
G99 G92 X19.435 Z0. F1.5
X19.09
X18.816
X18.583
X18.376
X18.376
G0 G28 U0. Y0.
```

Kuva 11. Box-formaatti kierteityksestä.

```
G99
G76 P010060
G76 X18.376 Z0. R0. P1 Q0 F1.5
G0 G28 U0. Y0.
G28 W0. M05
```

Kuva 12 .Canned-formaatti kierteityksestä.

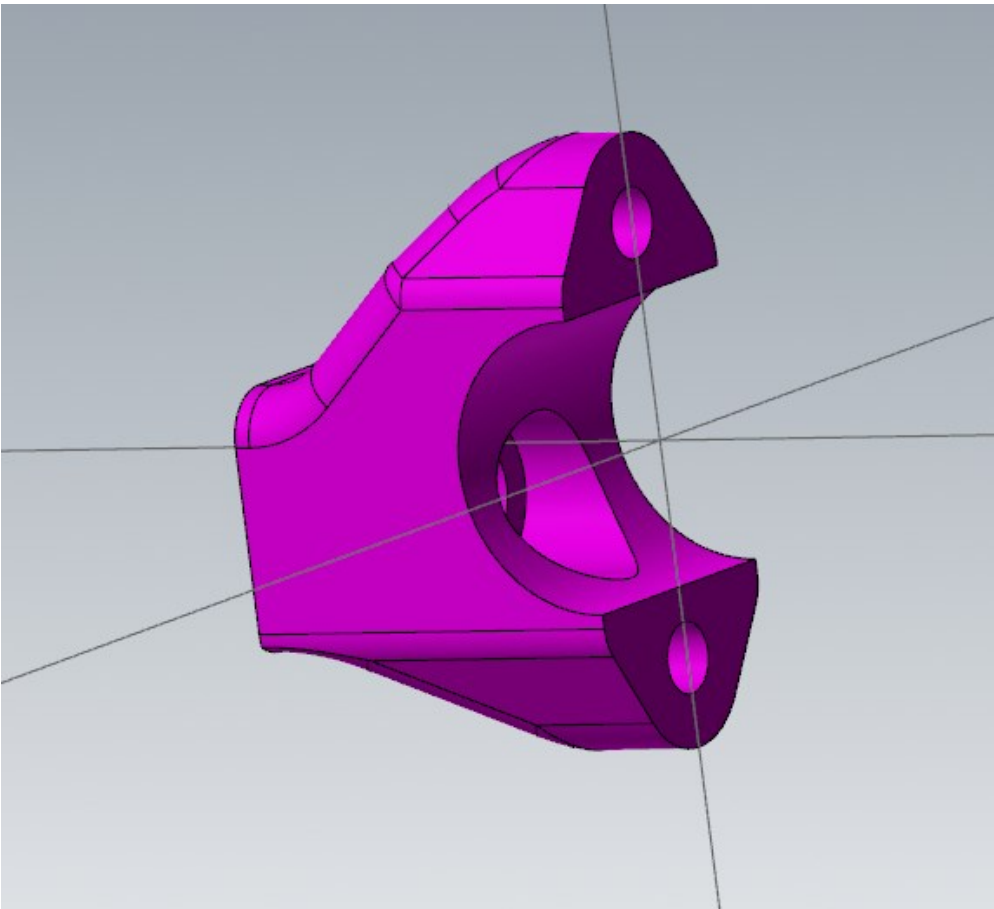
Kierteitysongelman ratkettua päästiin koneistamaan itse kappale. Kuvassa 14 ensimmäinen Mastercam-ohjelmalla koneistettu kappale konelaboratorion Mazak sorvauskeskuksella.



Kuva 13. Koneistettu demokappale.

3.6 Jyrsittävän kappaleen ohjelmointi ja koneistus

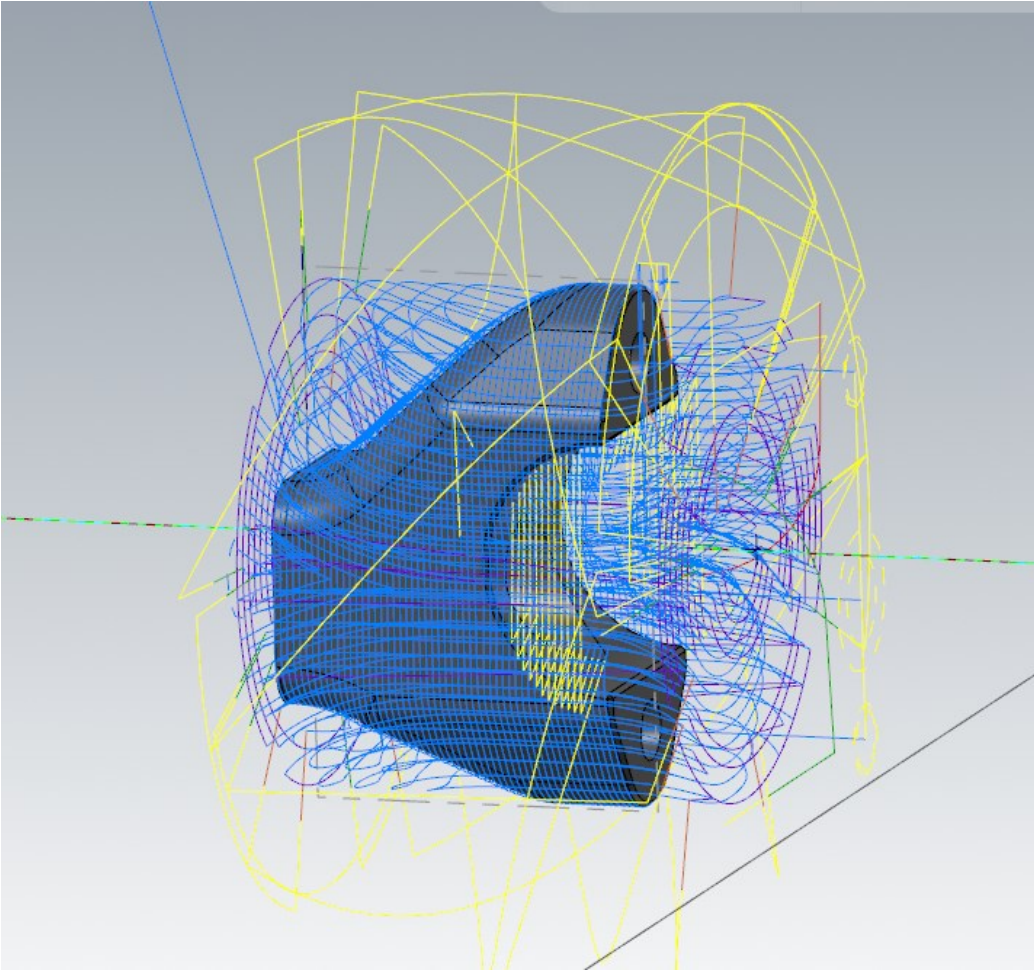
Toiseksi demokappaleeksi valikoitui moottoripyörän tangonkiinnike. 3D-malli oli valmiina, joten mallinnukseen ei tarvinnut käyttää aikaa. Tangonkiinnike oli sopiva vaihtoehto toiseksi valmistettavaksi kappaleeksi, koska sen valmistus sisältää monipuolisesti eri jysintöjä. Mazak mahdollisti tangonkiinnikkeen koneistukset tankoaihiosta sekä yhdestä kiinnityksestä. Aiempi valmistusmenetelmä on vaatinut vähintään kaksi eri kiinnitystä. Ohjelmointi oli myös huomattavasti haasteellisempaa verrattuna ensimmäiseen kappaleeseen. Opetusmateriaalia syntyi hyvin tangonkiinnikkeen ohjelmoinnista. Kuvassa 14 malli tangonkiinnikkeestä.



Kuva 14. Mallinnettu tangonkiinnike.

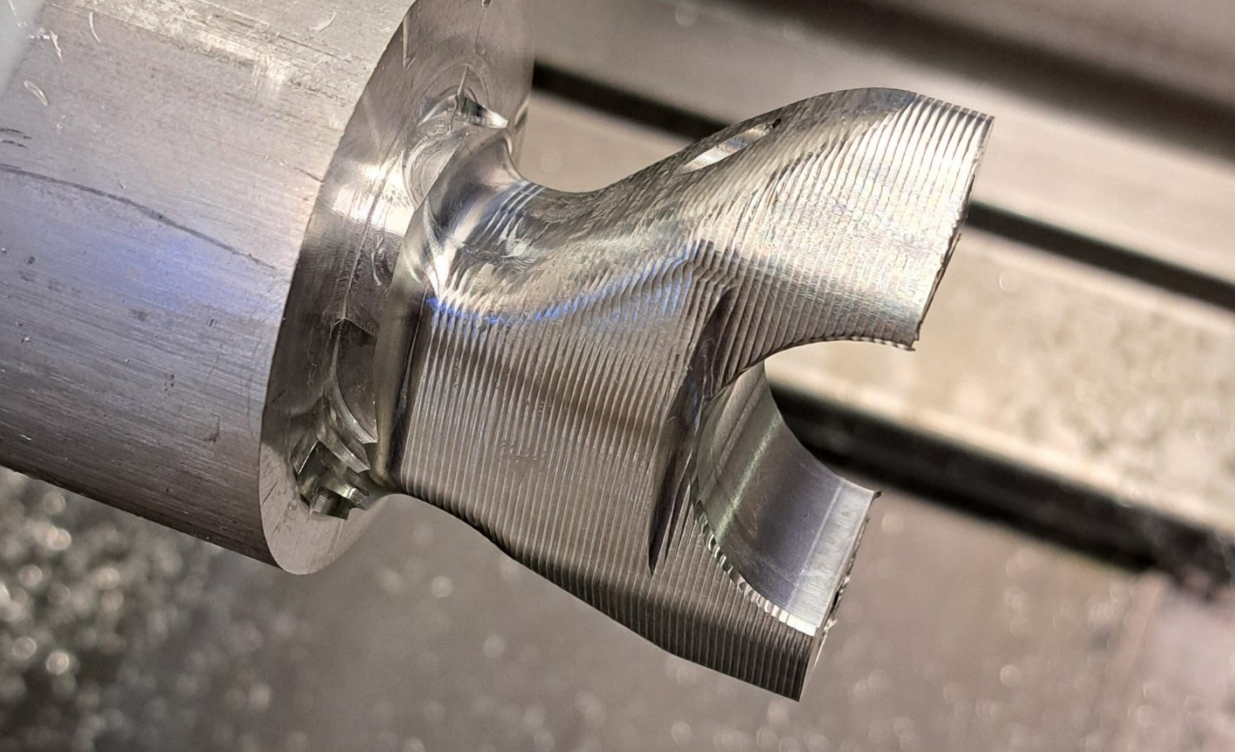
Työstöratojen luonti aloitettiin aihion pään oikaisusta, jonka jälkeen porattiin ja kierteytettiin reiät. Seuraavaksi aihio rouhittiin Rotary Advanced -toiminnolla. Rotary Advanced hyödyntää neljää akselia työstöradan luomiseksi valittuihin pintoihin. Työkaluna käytössä oli 16 mm jysintappi. Rouhinnan jälkeen alkoi viimeistely. Ensimmäisenä viimeisteltiin puoliympyrä muoto Contour -toiminnolla. Työkalu pysyi samana. Ulkopinnan viimeistelyyn käytettiin Rotary-toimintoa, joka luo jatkuvan työstöradan pyörähdysakselin ympärille. Työkaluksi valikoitui 8 mm pallopäinen jysintappi. Ulkopinnan viimeistelyn jälkeen vuorossa oli 16 mm upotus, sekä 10

mm läpi reikä. Molemmat suoritettiin poraustoiminnolla. Lopuksi kappale irrotettiin ahiosta katkaisuterällä. Kuvassa 15 tangonkiinnike työstöratoineen.



Kuva 15. Tangonkiinnike työstöradoilla.

Kappaleen työstössä ilmeni ongelma, kun kahdessa eri operaatiossa käytettiin samaa työkalua. Operaation vaihtuessa ohjelma kadotti työkalukorjaimen G49 koodilla. Ongelman epäiltiin johtuvan postprosessorista, joten virheestä ilmoitettiin jälleenmyyjälle ja korjattu postprosessori saapui nopealla aikataululla. Korjattu postprosessori mahdollisti kappaleen valmistuksen ongelmitta. Kuvassa 16 koneistettu tangonkiinnike ennen katkaisua ahiosta.



Kuva 16. Koneistettu tangonkiinnike.

4 YHTEENVETO JA POHDINTA

4.1 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli CAM-ohjelman käyttöönotto Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorion Mazak Integrex 200 IV S -sorvauskeskukseen, sekä testata postprosessori mahdollisimman monella erilaisella työstöllä. Lopuksi tavoitteena oli luoda kattava paketti opetusmateriaalia CAM-ohjelmiston käytöstä.

Työ aloitettiin tutustumalla Mastercamin Mill-turn ympäristöön. Mill-turn ympäristössä sorvauspuoli tuli täysin uutena asiana, joten sen sisäistäminen vei alkuun jonkin verran aikaa. Tutustumisen jälkeen alkoi varsinainen käyttöönotto, joka aloitettiin kokeilemalla tiedonsiirron toimivuutta tietokoneen ja Mazakin välillä. Tiedostonimen kanssa törmättiin pieneen ongelmaan, koska Mazak ei ymmärtänyt välilyöntiä tiedostonimessä ja tiedoston täytyi olla EIA-muodossa. Tämän jälkeen alettiin rakentamaan työkalukirjastoa Mastercamiin. Työkalukirjaston ollessa luotuna oli aika suunnitella demokappale, johon luotaisiin ohjelma Mastercamilla.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin Mastercam toimimaan Mazak Integrex 200 IV S sorvauskeskuksessa sekä luotua opetusmateriaalia konelaboratorion käyttöinsinööreille. Käyttöönotto ei kuitenkaan ole täydellinen vielä, koska kappaleita ei ajankäytöllisistä syistä ole ehditty ajamaan kovinkaan montaa, mutta opetusmateriaalin myötä konelaboratorion käyttöinsinöörit pystyvät jatkamaan Mastercamilla ohjelmointia.

4.2 Pohdinta

Lähtökohta työlle oli mielenkiintoinen. Taustaa Mastercam ohjelman käytöstä oli käyttöinsinöörikoulutuksen myötä ja omat tarpeet lisäsivät työn mielekkyyttä. Tehtäväksi annettiin suunnitella demokappale, joka sisältäisi mahdollisimman paljon erilaisia työstöjä, jotta postprosessorin toiminta tulisi testattua mahdollisimman laajasti. Demo kappale toimisi pohjana käyttöönotolle. Demokappaleita syntyi lopulta kaksi, koska ensimmäisen kappaleen valmistus onnistui lähes ilman ongelmia. Ensimmäisen demokappaleen yksi vaatimuksista oli 5-akselikoneistus, koska postprosessoreista löytyy usein ongelmakohtia moniakselityöstöissä. Ongelmat postprosessorin kanssa olivat kuitenkin vähäiset ja tarve muokkaukselle oli vain kerran. Työssä eniten ongelmia aiheutti moniakseli työstöjen ohjelmointi, koska se tuli täysin

uutena asiana. Moniakselityöstöjen ohjelmointiin apu löytyi pääsääntöisesti internetistä sekä YouTubesta. Myöskään Mazakin käytöstä ei ollut aiempaa kokemusta, mutta selkeän käyttöliittymän vuoksi siitä ei aiheutunut haittaa.

Nyky aikaisten NC-koneiden ohjausten kehittyessä CAM-ohjelmistojen käytön tarve tulee vähentymään, mutta tuskin vielä loppumaan. Yksinkertaisten kappaleiden ohjelmointiin nykyaikaiset ohjaukset ovat erittäin tehokkaita, mutta 3D-muotoja koneistettaessa CAM-ohjelma on oikea vaihtoehto. On mielenkiintoista seurata, miten tekoälyä tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään sekä NC-koneiden ohjauksessa että CAM-ohjelmissa.

LÄHTEET

Camcut. (i.a.). *Mastercam postproessorin muokkaus*. <https://www.camcut.fi/tuki/ohjeet/mastercam-postproessorin-muokkaus/>

Evans, K. (2016). *Programming of CNC Machines* (4. uud. p.) Industrial Press.

Jianbin, X. (2018). *Integration of CAD/CAPP/CAM*. China Science Publishing & Media.

Maaranen, K. (2012). *Koneistus*. Sanoma Pro.

Pikkarainen, E., & Mustonen, M. (2010). *Numeerisesti ohjatut työstökoneet* (2. uud. p.). Opetushallitus.

Smid, P. (2007). *CNC Programming Handbook* (3. uud. p.). Industrial Press.

Tormach. (i.a.). *What is a CNC post processor and why do i need one?* <https://tormach.com/articles/what-is-a-cnc-post-processor-and-why-do-i-need-one>

Vesämäki, H. (2014). *Lastuavan työstön NC-ohjelmointi* (4. uud. p.). Teknologiainfo Teknova.