

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2021

Alexi Tapanila

# CAD/CAM-OHJELMISTOJEN VERTAILU JA VALINTA

ST-Koneistus Oy

Alexi Tapanila

## CAD/CAM-OHJELMISTOJEN VERTAILU JA VALINTA

CAD/CAM-ohjelmisto on tärkeä osa valmistusprosessia. Sen tarkoitus on luoda 3D-mallin geometriaa käyttäen NC-ohjelma työstökoneille. Tietokoneavusteisen valmistuksen avulla voidaan luoda tehokkaampia työstöratoja. Tällä saavutetaan nopeampi läpimenoaika ja tehokkaampi lastuvirta samalla helpottaen tarjouslaskentaa simuloinnin avulla.

Opinnäytetyön tehtiin ST-koneistukselle, ja sen tarkoitus oli tarkastella erilaisia CAM-ohjelmisto vaihtoehtoja ja niiden tehokasta hyödyntämistä yrityksessä. Vaihtoehtoja valittiin neljä ohjelmistoa tarkempaan tarkasteluun. Näillä ohjelmistoilla luotiin työstöradat esimerkkikappaleisiin. Ohjelman käytön aikana arvioitiin muun muassa helppokäyttöisyys, ominaisuudet sekä tehokkuus. Vertailun aikana selvitettiin myös käyttäjiltä aikaisempia kokemuksia ohjelmistoista. Kun sopiva ohjelma löydettiin, voitiin arvioida sen käyttötapaa. Prosessin jälkeen päädyttiin MasterCAM-ohjelmistoon ja sen työstöratojen käyttämiseen aliohjelmina tulevien ohjelmien valmistuksen helpottamiseen. Pääohjelma halutaan pysyvän helposti muokattavassa muodossa Mazatrolina.

Työn aikana saatiin käsitys, miten uutta ohjelmistoa voitaisiin hyödyntää nykyisessä tuotantoprosessissa. Tehokkaammat työstöradat parantaisivat yrityksen kilpailuetua markkinoilla. Tuloksena saatiin käsitys uuden ohjelmiston tuomista hyödyistä ja mahdollisista haitoista. Näiden perusteella ohjelmiston hankkiminen todettiin hyödylliseksi lisäksi nykyiselle valmistusprosessille. Mikäli ohjelmisto hankitaan yritykseen, lisäkoulutusta käyttäjille pidetään tarpeellisena ohjelmien teon helpottamiseksi, sillä CAM-ohjelmointi on monelle työntekijälle uusi asia.

ASIASANAT:

CAD, CAM, CNC, Koneistus, Sorvaus, Jyrsintä

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

2021 | pages 36

Aleksi Tapanila

## CAD/CAM SOFTWARE COMPARISON AND SELECTION

CAD/CAM software is an important part of the manufacturing process, and its purpose is to create an NC program for machines using the geometry of the 3D model of a workpiece. Computer-aided manufacturing can be used to create more efficient toolpaths compared to traditional NC programming. This achieves a faster turnaround time, and the simulation offers a massive help for calculating competitive subcontracting offers to customers.

The thesis was commissioned by ST-koneistus and the purpose of this thesis was to compare different CAM software options and their efficient utilization in the company. From these options, a few softwares would be selected for closer examination. From the selected softwares, toolpaths would be created for the example parts. Based on the closer test the options were compared to each other with their key features such as ease of use, features and efficiency and they would be compared. During the comparison, main users' previous experiences with the softwares were also examined. Once a suitable program was found, its use could be evaluated. After the process, MasterCAM was chosen as the go-to software, and it would be used for toolpaths in subroutines. The main program is intended to remain in an easily editable form as Mazatrol.

During the study, an understanding was gained of how the new software could be utilized in the current production process. With more efficient toolpaths the company's competitive advantage would improve in the market. The result was an understanding of the benefits and potential disadvantages of the new software. Based on these, the acquisition of software is perceived as useful in addition to the current manufacturing process. If the software is acquired by the company, additional training for users' needs to be considered necessary because CAM programming is very unknown to many users at ST-koneistus.

KEYWORDS:

CAD, CAM, CNC, Machining, Turning, Milling

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 ST-KONEISTUS</b>	<b>8</b>
<b>3 LASTUAVA TYÖSTÖ</b>	<b>9</b>
3.1 Sorvaus	9
3.2 Jyrsintä	12
<b>4 3D-MALLISTA TYÖSTÖRADOIKSI</b>	<b>14</b>
4.1 Ohjelmointi	14
4.2 CAD	15
4.3 CAM	16
4.4 Postprosessori	16
4.5 STEP	17
4.6 Konesimulointi	17
4.7 Työstöradat	18
<b>5 CAD/CAM-OHJELMISTOT</b>	<b>20</b>
5.1 FeatureCAM	20
5.2 MasterCAM	20
5.3 GibbsCAM	20
5.4 EspritCAM	21
5.5 MazaCAM	21
<b>6 KOHTEENA OLEVAT TYÖSTÖKONEET</b>	<b>22</b>
6.1 Kohde	22
6.2 Mazak HQR-250MSY	22
6.3 Mazak Integrex I-400ST	23
6.4 Mazak Integrex I-200ST	24
<b>7 OHJELMISTOJEN VERTAILU</b>	<b>26</b>
7.1 Ohjelmistojen ominaisuudet	26
7.2 Ohjelmistojen testaus	27

7.3 Valinta	32
<b>8 YHTEENVETO</b>	<b>33</b>
<b>9 POHDINTA</b>	<b>35</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>36</b>

## KUVAT

Kuva 1. Sorvauksen periaate (Groover 1996, 511).	10
Kuva 2. Sorvi (Groover 1996, 514).	11
Kuva 3. Monitoimisorvi (Sandvik 2021a).	12
Kuva 4. Lieriö- ja otsajyrsintä (Groover 1996, 524).	12
Kuva 6. NC-koodia.	14
Kuva 7. Mazatrol-ohjelma MazaCAM-Editorissa.	15
Kuva 8. Konesimulointi (Eurometalli 2021).	18
Kuva 9. Mazak HQR-250MSY.	23
Kuva 10. Mazak Integrex I-400ST.	24
Kuva 11. Mazak Integrex I-200ST.	25
Kuva 12. 2D-piirustus sorvauksen esimerkkikappaleesta.	27
Kuva 13. Jyrsinnässä käytettävä esimerkkikappale.	28
Kuva 14. Ohjelman luomisen vaiheet (Instructables 2021).	28
Kuva 15. FeatureCAM-työstöradat.	29
Kuva 16. GibbsCAM:llä luotu sorvauskappale.	30
Kuva 17. MasterCAM-sorvauskappale.	31
Kuva 18. Konemalli Mazak Integrex I-200ST.	32

## TAULUKOT

Taulukko 1. Vertailutaulukko.	32
-------------------------------	----

## KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

CAD	Computer-Aided Design; Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAM	Computer-Aided Manufacturing; Tietokoneavusteinen valmistus.
CNC	Computer Numerical Control; Tietokoneella tehtävä numeerinen ohjaus.
Konesimulaatio	Koneen työstöratojen tarkka simulointi tietokoneella.
Offline-ohjelmointi	Koneen oman ohjauksen ulkopuolella tapahtuva ohjelmointi.
Postprosessori	Muuttaa CAM-ohjelmistolla valmistetut työstöradat työstökoneelle ymmärrettävään muotoon.
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data; 3D-mallien standardin mukainen tiedosto muoto. Käytetään 3D-mallien siirtämiseen eri ohjelmistojen välillä.

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää yrityksen tarve CAM-ohjelmistolle. Yrityksellä on jo käytössä kaksi aikaisemmin hankittua CAM-ohjelmistoa, joita hyödynnetään osalla työstökoneista. Opinnäytetyössä testataan ja vertaillaan neljää eri CAM-ohjelmisto vaihtoehtoja. Näistä ohjelmistoista valitaan sopivin ja pohditaan, onko tarvetta siirtää ohjelmointi kokonaan työstökoneiden käsin ohjelmoinnista tietokoneelle.

Ohjelmistolle on tarvetta tehokkaampien työstöratojen luomiseksi sekä vaikeiden muotojen koneistamisen helpottamiseksi. Esimerkiksi vaikeiden geometrioiden viisteytysratojen luonti onnistuu CAM-ohjelmistolla helpommin kuin käsintehtyillä ohjelmalla. Lisäksi dynaamiset sorvaus- ja jysintäradat nopeuttaisivat prosessia merkittävästi.

Opinnäytetyö tehdään ST-koneistus yrityksen toimeksiantona. Yrityksellä on laaja tuntemus hydraulikkakomponenttien valmistamisesta. Valmistettavien kappaleiden materiaali on pääosin terästä, ja yrityksen monitoimisorvit olivat pääasiallisena tutkimuskohteena. Monitoimisorveilla valmistetaan monimutkaisia kappaleita, joihin käytetään monikaratyöstöä. Tämä tarkoittaa useiden toimintojen tapahtumista samaan aikaan, joka tekee ohjelmoinnista haastavaa. Lisäksi koneissa työkappaleiden vaihtaminen tapahtuu robotilla.

Tarkempaan tutkimiseen valitaan CAM-ohjelmistoja, joista ladataan kokeiluversiot ja tehtiin testiohjelmiä. Ohjelmistoilla suunniteltiin työstöradat kahteen 3D-malliin, joista toinen oli jysintä- ja toinen sorvauskappale. Työn aikana arvioitiin ohjelmistojen helppokäyttöisyyttä, ominaisuuksia ja työstöratojen tehokkuutta. Jos ohjelmisto todetaan helppokäyttöiseksi ja toimivaksi, voidaan sitä harkita useiden työstökoneiden käytettäväksi.

## 2 ST-KONEISTUS

ST-koneistus on hydraulikkakomponenttien koneistamiseen ja kokoonpanoon erikoistunut yritys, joka sijaitsee Ylöjärvellä. Nykyään yritys työllistää noin 60 henkilöä ja on Suomen suurin erikoissarjoihin erikoistunut hydraulikkalohko- ja komponenttivalmistaja. Avaintuotteita ovat pohjalaatat, venttiilit, erikoissylinterit ja -lohkot. Yrityksen tuotantovolyymi oli noin 250 000 komponenttia vuonna 2019. (ST-uutiset 5/2021.)

Yleisimpinä koneistettavina materiaaleina ovat hydraulilohko-, haponkestävä- ja ruostumatonta terästä. Valmistettavia tuotteita käytetään muun muassa metsäkoneissa, kaivoslaitteissa, huvijahdeissa, maatalouskoneissa, hydraulisissa lisälaitteissa ja lukuisissa muissa kohteissa. Tuotteita pyritään jatkuvasti kehittämään ja optimoimaan, jotta saavutetaan esimerkiksi kevyempi tuote tai säästöjä materiaalikustannuksissa, lyhyempi toimitusaika sekä parempi tuotteen toimivuus. Yritys on sertifioitu ISO 9001:2015- ja ISO 14001:2015 -standardeilla. (ST-uutiset 5/2021.)



## 3 LASTUAVA TYÖSTÖ

Lastuaminen on työstömenetelmä, jossa materiaalia huomattavasti kovempi terä leikkaa ylimääräistä materiaalia pois ahiosta. Tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi sorvaaminen, jyrsiminen, poraaminen, sahaaminen ja hiominen. Materiaalista poistuvaa ainetta kutsutaan lastuiksi. Suurin osa aineesta poistetaan rouhintavaiheessa tehokkaasti. Viimeistelytyöstö tehdään rouhinnan jälkeen, ja sen tarkoitus on saada ahiosta mittatarkka ja saavuttaa hyvä pinnanlaatu. Vaikka lastuaminen on kallis työstötapa, sitä ei voida korvata tarkkoja mittoja vaativien kappaleiden valmistamisessa. Lastuamisessa käytettävät liikkeet ovat lastuamislিকে, syöttöliike ja asetusliike. (Ihalainen ym. 1995, 140–144.)

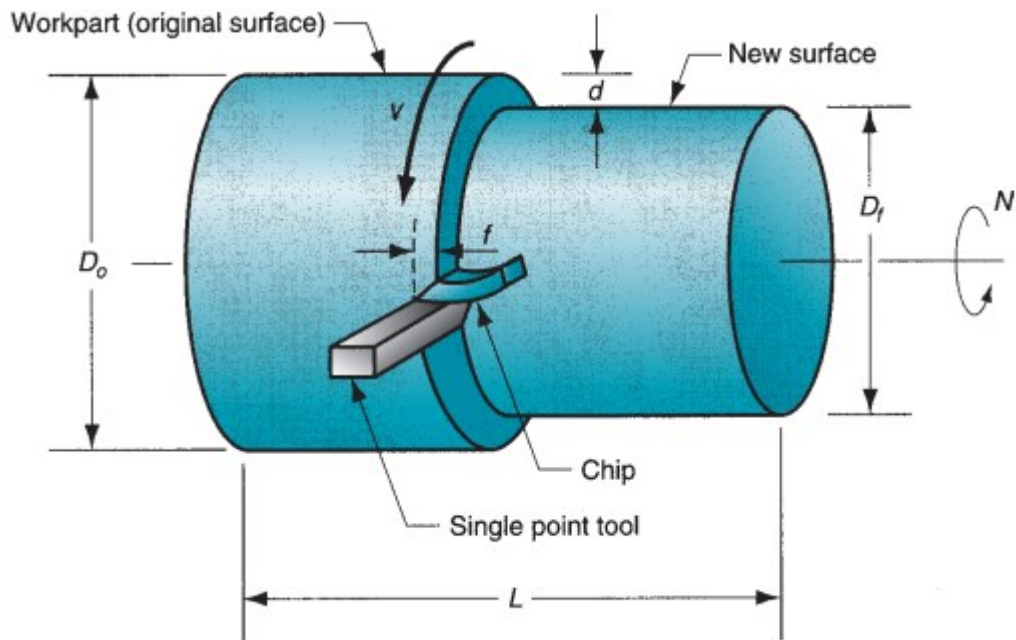
Lastuamislিকে on työstettäessä lastunirroituksen suuntainen, ja sen mittasuurena käytetään lastuamisnopeutta. Sorvatessa kappale pyörii, joten lastuamisnopeus määritetään kappaleen kehänopeutena. Sorvissa tämä ilmoitetaan ohjaukselle suoraan lastuamisnopeutena, josta kone laskee kappaleen pyörintänopeuden. Toisin kuin sorvatessa, jyrsinnässä työstökoneelle ilmoitetaan terän pyörintänopeus, joka lasketaan lastuamisnopeuden ja terän halkaisijan avulla. Lastuamisnopeus ilmoitetaan yksikkönä m/min ja pyörintänopeus taas kierrosta/min. (Ihalainen ym. 1995, 140–144.)

Syöttöliike on toinen lastuamisessa käytettävä liike, ja sen parametri on syöttö. Sitä kuvataan sorvauksessa yleisesti terän kulkemana matkana per kierros (mm/kierros). Jyrsinnässä taas työkaluissa on yleensä useita työstäviä hampaita toisin kuin sorvatessa. Hampaiden määrän vuoksi syöttönopeutta laskiessa tulee ottaa huomioon, kuinka monta työstävää hammasta työkalussa on. Hammaskohtainen syöttö kerrotaan hampaiden lukumäärällä ja pyörintänopeudella, josta saadaan syöttönopeus (mm/min). Viimeinen lastuavan terän ja työkalun välinen liike on asetusliike. Se määrittää työstössä lastuamissyvyyden. Lastuamissyvyyden yksikkönä käytetään millimetriä ja työstettäessä se ilmoittaa työkalun työstösyvyyden. (Groover 1996, 487–489.)

### 3.1 Sorvaus

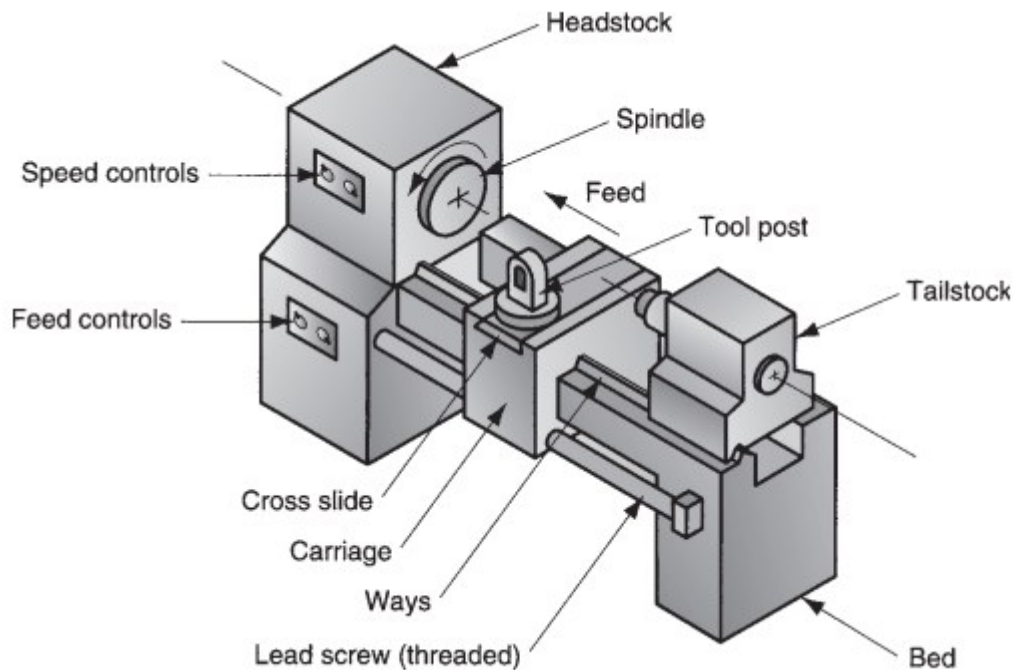
Sorvaus on työstömenetelmä, jossa kappale pyörii pituusakselinsa ympäri. Sorvauksen peruserä on esitetty kuvassa 1, jossa työkalun kärki poistaa materiaalia pyörivästä kappaleesta. Sorvauksen tehokkuuden määrittää työstöparametrit, joita ovat

syöttönopeus, lastuamisnopeus ja työstösyvyys. Sorvaamalla valmistettavat kappaleet ovat pyörimisliikkeen johdosta sylinterin muotoisia. (Groover 1996, 510–511.)



Kuva 1. Sorvauksen periaate (Groover 1996, 511).

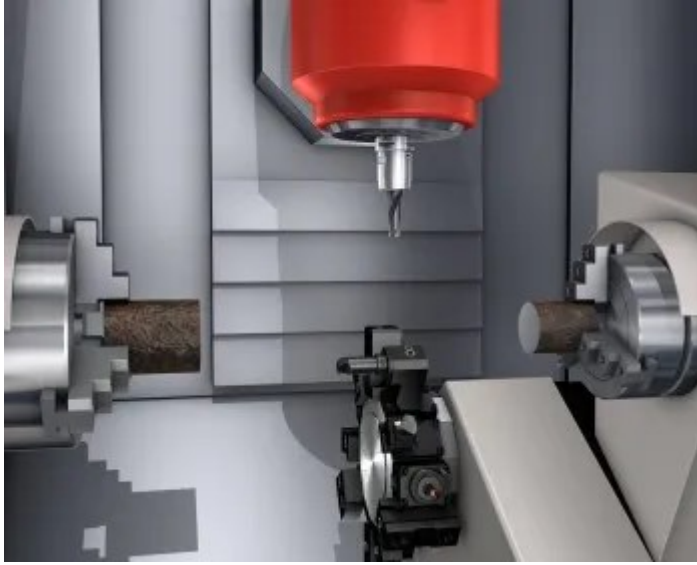
Sorvaukseen käytettävää konetta kutsutaan sorviksi (kuva 2). Yleisiä sorvityyppejä ovat muun muassa kärkisorvi, revolverisorvi, automaattisorvi, NC-sorvi ja monitoimisorvi. Yleisin sorvityyppi on kärkisorvi, jolla on helppo valmistaa pieniä sarjoja ja suhteellisen yksinkertaisia pyörähdysymmetrisiä kappaleita. Kärkisorvin koko määräytyy suurimman sorvaushalkaisijan sekä suurimman mahdollisen sorvauspituuden osalta. (Ihalainen ym. 1995, 151–157.)



Kuva 2. Sorvi (Groover 1996, 514).

Kehittyneen tekniikan myötä NC-sorvit eli numeerisesti ohjatut sorvit ovat korvanneet perinteiset kärkisorvit. NC-sorvilla onnistuu monimutkaisien geometrioiden sorvaaminen, sillä syöttö voidaan toteuttaa liikuttamalla useampaa akselia kerralla. Samalla sen tehokkuus on myös parempi vakiolastuamisnopeuden ja automaattisen lastunjaon johdosta verrattuna kärkisorviin. Vakiolastuamisnopeus saavutetaan, kun sorvattaessa kappaleen pyörintänopeus vaihtuu automaattisesti työstettävän halkaisijan mukaan. NC-sorveissa voi olla myös useampi revolveri, joiden avulla voidaan työstää yhtäaikaaisesti kahdella työkalulla. (Ihalainen ym. 1995, 151–157.)

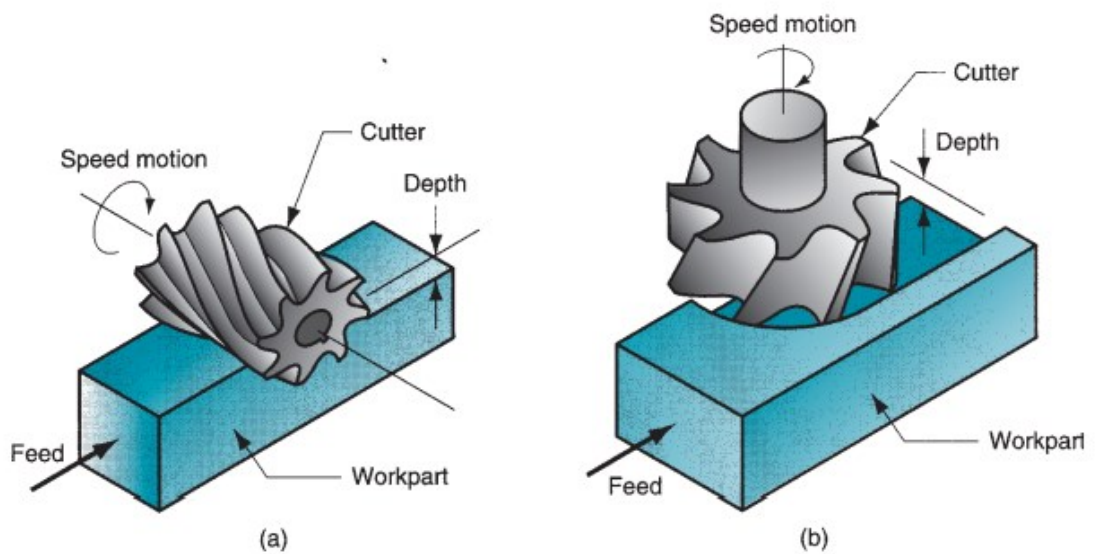
Monitoimisorvit ovat NC-sorveja, jotka on varustettu pyörivillä työkaluilla. Pyörivien työkalujen avulla on mahdollista valmistaa ei pyörähdyssymmetrisiä kappaleita. Jos sorvissa on käytössä useampi revolveri ja kara, voidaan sorvia käyttää monikaratyöstöön. Tässä kappaleen eri vaiheita työstetään samaan aikaan kummallakin sorvin karalla ja eri revolverilla. Revolvereissa olevilla työkaluilla voidaan käydä työstämässä kumpaakin eri karoilla olevaa kappaletta tai useampi revolveri voi työstää samaan aikaan yhtä kappaletta. Kuvassa 3 on esitetty monitoimisorvi kahdella karalla sekä jrsintäyksiköllä ja alarevolverilla. (Ihalainen ym. 1995, 151–157.)



Kuva 3. Monitoimisorvi (Sandvik 2021a).

### 3.2 Jyrsintä

Jyrsintä on työstömenetelmä, jossa työkalu pyörii akselinsa ympäri ja kappale pysyy paikallaan. Useimmiten jysinnässä syöttöliike on kohtisuorassa työkalun pyörintäakseliin nähden. Jyrsin on monikäyttöisempi sorviin nähden, koska sillä voi valmistaa monimutkaisempia kappaleita. Kuvassa 4 on esitetty vasemmalla lieriöjyrsintä ja oikealla otsajyrsintä. (Groover 1996, 523–524.)



Kuva 4. Lieriö- ja otsajyrsintä (Groover 1996, 524).

Nykyään jyrsimillä voidaan valmistaa numeerisen ohjauksen ansiosta muille työstötavoille mahdottomia muotoja. Jyrsinkone oli ensimmäinen numeerisesti ohjattu työstökone eli koneistuskeskus. Pian havaittiin työstöprosessien vaativan useita eri työkaluja, joten kehitettiin automaattinen työkalunvaihtaja muuttamaan valmistusprosessia automaattisemmaksi ja sen kautta tehokkaammaksi. Tehokkuuden parantamiseksi varustettiin koneet myös kahdella pöydällä, jolloin kappaleet voitiin vaihtaa toisella pöydällä ja työstää samanaikaisesti toisella. Koneistuskeskukset ovat parhaimmillaan täysin automaattisia, joissa kaikki toiminnot ovat ohjelmoitavissa. (Ihalainen ym. 1995, 163–171.)

## 4 3D-MALLISTA TYÖSTÖRADOIKSI

### 4.1 Ohjelmointi

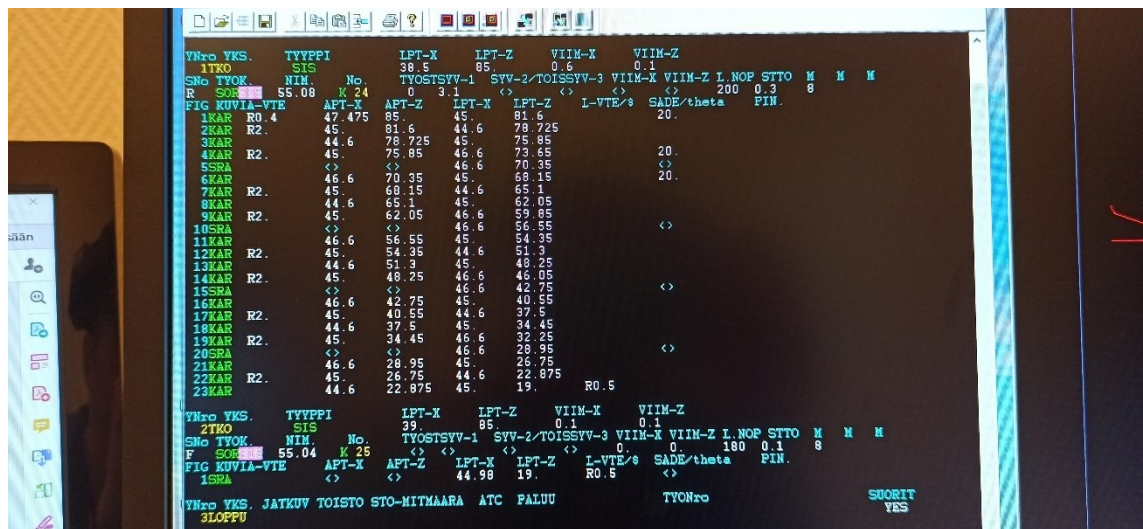
NC tarkoittaa numeerista ohjausta (Numerical Control), joka kehitettiin 1950-luvun alussa vaikeiden lentotekniikan tuotantoprosessien helpottamiseksi. Työstettävät kappaleet olivat niin monimutkaisia, että niiden valmistamiseen tarvittiin useita satoja liikkeitä työkaluilla. Tähän manuaalisesti ohjatut työstökoneet todettiin uuden teknologian myötä tehottomiksi ja hitaiksi. Lisäksi ilman uutta teknologiaa useiden tuntien työstämisen jälkeen kappaleet saatettiin hylätä työstövirheiden vuoksi. Myöhemmin toiminnan ja ohjauksen edellyttämät tiedot koodattiin numeroiksi synnyttäen uuden teknologian, jota kutsutaan numeeriseksi ohjaukseksi. (Radhakrishnan ym. 2008, 341–342.)

Nykyään tietokone on liitetty ohjaamaan työstökoneita ja tätä kutsutaan tietokoneistetuksi numeeriseksi ohjaukseksi (Computer Numerical Control). Tietokoneiden lisääminen työstökoneisiin toi lisää muistia, joka mahdollisti suurempien ohjelmien ajamisen. Näiden myötä koneisiin tuli myös ohjauspaneelit, joilla voitiin muokata ohjelmaa helposti. Mikroprosessorien kehittyttyä ne lisättiin myös osaksi CNC-koneita. Nykyään molemmat NC ja CNC tarkoittavat tietokoneistettua numeerista ohjausta. Esimerkki NC-koodista on kuvassa 6. (Radhakrishnan ym. 2008, 341–342.)

```
00100|
N15 G00 G99
N20 G28 U0 W0
( ROUGH FACE FACE3 )
( SW_Turn_80m_RH )
N35 G00 T0101 M08
N40 G50 S3000
N45 G96 S365 M04
N50 G00 X124.0 Z0.1
N55 G01 X78.0 F0.381
N60 Z1.0
N65 X78.707 Z1.354
N70 Z4.0
```

Kuva 5. NC-koodia.

Mazakin työstökoneissa käytetään yleisesti Mazatrol-ohjausta, joka on rakennettu Mitsubishin pohjalle. Kuvassa 7 näkyy Mazatrol-ohjelmassa NC-koodin sijaan kyseleviä yksiköitä, joita käytetään ohjelmointiin. Yksiköihin määritellään haluttu työstöoperaatio ja ohjaus luo itse työstöradat. Mazatrol-ohjaus on saatavilla myös suomeksi. Uudella Mazak Smooth -ohjauksella pyritään hyödyntämään tekoälyä käyttämällä vanhoja työstöratioja uusien luomiseksi. (Wihuri 2021.)



Kuva 6. Mazatrol-ohjelma MazaCAM-Editorissa.

## 4.2 CAD

Computer-Aided Design (CAD) eli tietokoneavusteinen suunnittelu on 2D-piirustuksiin ja 3D-malleihin käytettävä ohjelmisto tietokoneelle. Sitä käyttävät etenkin insinöörit suunnitellessaan tai simuloidessaan komponentteja ja työstettäviä kappaleita. Ensimmäiset ohjelmistot tulivat lentokone- ja autoteollisuuteen 1960-luvulla. Tietokoneiden kalliista hinnasta johtuen ne tulivat yleiseen käyttöön vasta myöhemmin, minkä vuoksi vielä 1970-luvulla ohjelmistoilla piirrettiin tyypillisesti vain 2D-piirustuksia. Myöhemmin tietokoneiden kehittyttyä pystyttiin piirtämään 3D-malleja, joita voitiin hyödyntää vaikeampiin sovelluksiin, kuten simulointiin. Uusien ohjelmistojen avulla yksi piirtäjä pystyy korvaamaan useita perinteisiä käsin piirtäjiä. (Xue 2018, 4.)

### 4.3 CAM

Computer-Aided Manufacturing (CAM) tarkoittaa tietokoneavusteista valmistamista ja sen tarkoitus on tuottaa NC-ohjelma tietokoneen avulla. Aluksi luodaan CAD-malli, josta saadaan tarvittavat piirteet ohjelman luomiseksi. Piirteitä voivat olla esimerkiksi solid- tai pintamallit, joista saadaan tarvittava geometria työstöoperaatioihin. CAD-malli on valmis kappale, jonka ympärille luodaan aihio, joka voi olla esimerkiksi tanko, levy tai valu. Valmiin kappaleen CAD-mallia muokkaamalla saadaan helposti luotua aihio. Yleisiä CAD-mallin tyyppisiä ovat STEP- ja IGES-tiedostot. (Radhakrishnan ym. 2008, 454–458.)

Seuraava vaihe ohjelman valmistuksessa on työkalujen valinta, jossa koneistuksessa tarvittavat työkalut määritetään tietokoneelle. Kun työkalut on määritetty, luodaan työstettävän kappaleen kiinnittämiseen tarvittava malli, kuten koneruuvipuristin. Seuraavaksi voidaan luoda työstöoperaatioita esimerkiksi pintojen jyrsintää ja porauksia. Tietokoneella voidaan tarkastaa työstöratojen toimivuus mahdollisten työkalutörmäysten osalta ja muokata työstöratoja mahdollisimman optimaalisiksi. Kun työstöradat on luotu onnistuneesti, tietokoneella postprosessoidaan valmis NC-koodi työstökoneen ohjaamiseen. (Radhakrishnan ym. 2008, 454–458.)

### 4.4 Postprosessori

Postprosessori on ohjelmisto, joka kääntää CAM-ohjelmalla tehdyt työstöradat työstökoneen ymmärrettäväksi NC-koodiksi. Tätä koodia käytetään työstökoneella haluttujen liikkeiden saavuttamiseksi. Työstökoneen ohjaus lukee NC-koodia, josta selviää koneen liikkeet. (Camplete 2021.)

Useimmilla nykyaikaisilla CAM-ohjelmistoilla voidaan tehdä työstöradat riippumatta siitä, mille työstökoneelle ohjelmaa tehdään. Työstöradat määritetään CAM-ohjelmistolla, jonka jälkeen ne käännetään oikealla postprossessorilla tietylle koneelle. CAM-ohjelmistolla luodut tiedostot sisältävät kaiken oleellisen tiedon työstöstä, kuten esimerkiksi jäähdytysnesteiden päälle kytkemisen. Postprossessorin tulee usein myös ottaa huomioon koneen kinematiikkaa. Tällä huomioidaan, miten koneessa olevaa akselia halutaan liikuttaa. Etenkin pyörivien akselien konfiguraatiolla on suuri merkitys siihen, miten työstöradat postprosessoidaan. Vaikutuksena ovat esimerkiksi työkalun



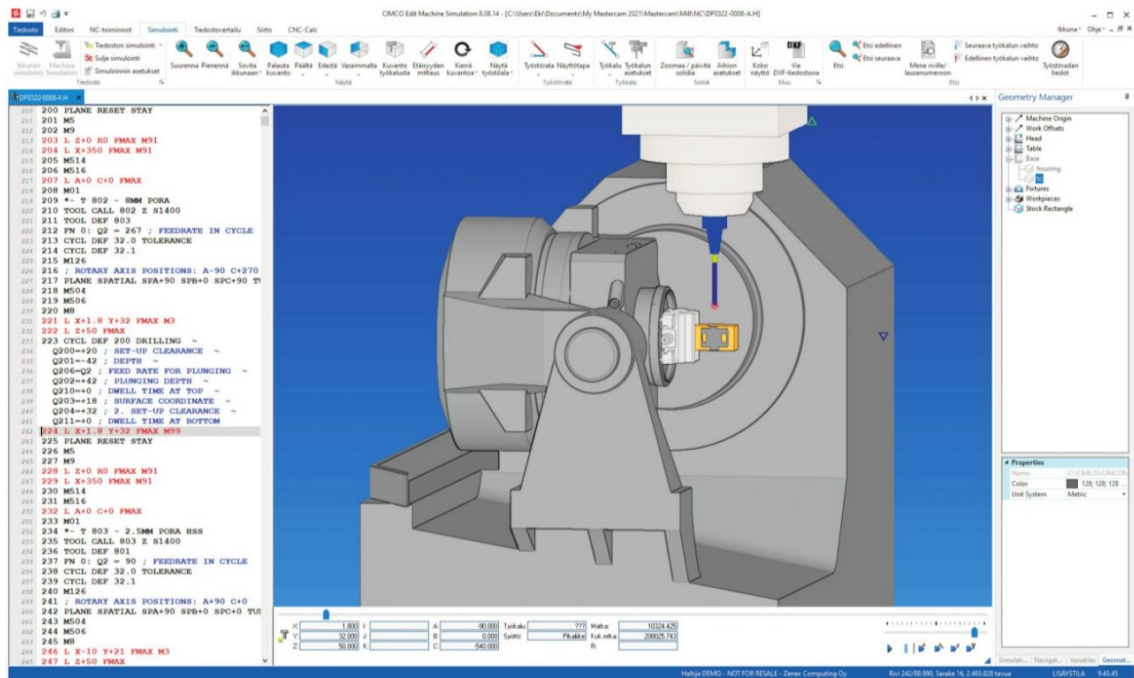
pituuskompensaatio ja syöttöliikkeet. Hyvä postprosessori tehdään konekohtaisesti, ja sillä luotua NC-koodia ei tarvitse muokata. NC-ohjelman tulisi huomioida työstökoneen kaikki ominaisuudet ja kinematiikka. (Complete 2021.)

#### 4.5 STEP

STEP eli Standard for the Exchange of Product data on ISO 10303-203 -standardi, jota käytetään tuotetiedon tallentamiseen, päivittämiseen ja siirtämiseen. Sen tarkoitus on yhdistää tietokoneavusteinen suunnittelu, työnsuunnittelu ja valmistus. Kokonaisuudessa se on ratkaisu tuotetiedon koko elinkaaren hallintaan. Suunnittelussa STEP-standardi yhdenmukaistaa eri CAD-ohjelmistojen tiedonsiirron ja mahdollistaa STEP-tiedoston avaamisen monella eri CAD-ohjelmistoilla, vaikka tuote olisi suunniteltu eri ohjelmistolla. Modernissa valmistusketjussa on tärkeää suunnittelutiedon siirtyminen eri sovellusten välillä. Kaikki valmistukseen liittyvän tiedon olisi tarkoitus olla standardin mukaista. Tällä mahdollistetaan erilaisten sovellusten liittyminen tietokantaan. Yhteisellä standardilla alihankkijoiden ja tavaratoimittajien tiedon siirtäminen helpottuu. (Sääski ym. 2007.)

#### 4.6 Konesimulointi

CNC-koneiden liikkeiden ja työstöratojen tarkasteluun käytettävät ohjelmistot ovat yleistyneet viime vuosina. Nykyään on mahdollista tarkastella tarkasti koneiden liikkeitä ja työstöratoja ennen varsinaista kappaleen työstämistä. Tarkastelun kohteena voi olla työkalu, kappale ja työkalupidin, jolloin mahdolliset törmäykset havaitaan ennen ajoa. Myös koko työstökone voi olla tarkastelun kohteena. Tämä vaatii työstökoneen ja sen varusteiden 3D-mallintamisen. Perinteisesti konesimulaatio ajatellaan olevan työkalun törmäys tarkastelua varten, mutta nykyään mahdolliset kinematiikkaan liittyvät ongelmat voidaan myös havaita ennen varsinaista koneistusta. Tällaisia voivat olla esimerkiksi työkalujen vaihdot ja siirtymät. Lisäksi simulaatiossa havaitaan, jos työkalu törmää esimerkiksi koneen omiin rakenteisiin. Useissa CAM-ohjelmistoissa esimerkiksi kuvan 8 ohjelmistossa on simulaatiomahdollisuus, jolla voidaan simuloida ohjelman luomat työstöradat. (Eurometalli 2021.)



Kuva 7. Konesimulointi (Eurometalli 2021).

Tarkempi simulointi tapahtuu suoraan postprosessorin luomasta NC-koodista, joka vastaa koneen todellisia liikkeitä. Tähän tarvitaan koneen 3D-malli, joka voidaan usein hankkia koneen valmistajalta. Simulaatiopalveluiden tuottajilla ei yleensä ole 3D-malleja koneista, koska niiden omistusoikeudet ovat koneiden valmistajilla. Samalla ohjelmistolla voidaan tarkastella useaa erilaista konetta lataamalla useita eri konemalleja. Ohjelmistoilla saadaan myös tietoon tarkempi arvio koneistusajasta, jota voidaan hyödyntää tarjouslaskennassa. (Eurometalli 2021.)

#### 4.7 Työstöradat

Jyrsintätyöstöratojen luonnissa tärkeimmät kolme vaihetta ovat lastuamisen aloitus, kosketuspituus ja irrotus kappaleesta. Aloituksessa on tärkeää lähestyä jouhevasti, jotta lastunpaksuus pysyy tasaisena ja terä kestää pidempään. Kosketuspituudella tarkoitetaan kaaren pituutta, jossa terä osuu materiaaliin. Esimerkiksi uraa jyrsiessä koko teränleveydellä kaari on 180 astetta, jolloin kaaren pituus vaikuttaa terään johtuvaan lämpöön ja leikkaavan särmän kulumiseen. Kappaleesta irrotuksessa tulisi välttää isoa lastunpaksuutta irtoamiskohdassa. Tällä varmistetaan työkalun särmän pidempi käyttöikä. (Sandvik 2021b.)

Dynaaminen jrsintä on työstömenetelmä, jonka ovat kehittäneet työkaluvalmistajat yhdessä CAM-ohjelmistojen tekijöiden kanssa. Dynaamisissa jrsintäradoissa on tarkoitus hyödyntää terän koko lastuavaasyvyttä. Kun terän koko pituutta käytetään, saavutetaan terän tasainen kuluminen koko leikkuupituudelta. Tämä luonnollisesti pidentää työkalun käyttöikää. Tavoitteena työstössä on suuri aksiaalinen ja pieni radiaalinen työstösyvyys. Dynaamisessa jrsinnässä voidaan käyttää korkeampaa lastuamisnopeutta ja isompaa hammaskohtaista syöttöä. Tällä saavutetaan lyhyempi työstöaika ja suurempi lastuamisvirta. Dynaamiset työstöradat vaativat enemmän NC-koodia perinteisiin menetelmiin verrattuna, jota voidaan pitää sen yhtenä huonona puolena. Koodin pituudesta johtuen sen muokkaaminen on lähes mahdotonta. (Camcut 2021a.)

Dynaamiseen sorvaukseen käytetään pyöreäpalaista sorvaustyökalua, jonka tarkoituksena on kulua tasaisesti. Periaatteeltaan dynaaminen sorvaus on samanlainen kuin dynaaminen jrsintä eli materiaalin työstäminen jouhevilla liikkeillä. Laskemalla koneistuskulmaa työkalun ja työstettävän materiaalin välillä saavutetaan vakaat koneistusolosuhteet. Tällä saavutetaan erinomainen lastunhallinta ja luotettava koneistusprosessi. (Camcut 2021b.)

## 5 CAD/CAM-OHJELMISTOT

### 5.1 FeatureCAM

FeatureCAM on Autodeskin kehittämä CAM-ohjelmisto, joka hyödyntää automaatiota. Automaation avulla ohjelmisto tunnistaa automaattisesti koneistettavat muodot ja luo työstöradat. Tällöin automaatiikan avulla työstöradat voidaan luoda todella nopeasti. FeatureCAM myös ehdottaa työstöön sopivan työkalun sekä työstöparametrit, kuten työstösyvyyden, -leveyden ja -järjestyksen. Lisäksi ohjelmisto tunnistaa automaattisesti työstössä käytössä olevat kiinnittimet ja osaa työstöratioja laskiessa välttää törmäyksiä. FeatureCAM on Autodesk Fusion360 -ohjelmiston lisäosa. Fusion360 on 3D-mallinnukseen tarkoitettu ohjelma, joka tulee mukana hankittaessa FeatureCAM-ohjelmisto. (Autodesk 2021.)

### 5.2 MasterCAM

MasterCAM on vuonna 1983 perustetun CNC Softwaren kehittämä CAM-ohjelmisto. Ohjelmistoa voidaan käyttää usean erityyppisen työstökoneen ohjelmointiin. Tällaisia työstökoneita voivat olla esimerkiksi työstökeskukset, sorvit, monitoimisorvit ja lankasahat. Ohjelmiston mukana on mahdollista myös saada monia lisäosia, kuten MasterCAM Blade Expert, jonka avulla voidaan ohjelmoida monimutkaisia siipipyöriä vaivattomasti ja nopeasti. Ohjelmiston 2D- ja 3D-ominaisuuksien avulla voidaan muokata työstettävää geometriaa tai luoda uusia piirteitä. MasterCAM on verkkosivujensa mukaan Suomen ja koko maailman suosituin CAM-ohjelmisto. (Camcut 2021c.)

### 5.3 GibbsCAM

Gibbs Systems on Bill Gibbsin vuonna 1982 kehittämä CAM-järjestelmä. Se oli yksi ensimmäisistä CAM-ohjelmistoista, joka oli kehitetty PC:lle. Uusimman sukupolven GibbsCAMiä käytetään sorvien, jyrsinten ja lankasahojen NC-ohjelmointiin. Ohjelmistossa on lukuisia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi VoluMill ja VoluTurn, joiden avulla dynaamisten ratojen luonti onnistuu vaivatta. Lisäksi yritys tekee yhteistyötä

useiden työstökoneiden ja työkalujenvalmistajien kanssa, joita ovat mm. DMG Mori, Mazak, Okuma, Matsuura ja Nakamura. Yhteistyöstä johtuen ohjelmistoon on saatavilla monia erilaisia postprosessoreja. Ohjelmisto on suosittu, ja sitä on myyty Pohjoismaissa yli 1500 lisenssiä. Suomessa GibbsCAMin jälleenmyyjänä toimii Cenic Finland Oy, jolta on saavana myös lisäkoulutusta ohjelmiston käyttöön. (Cenic 2021.)

#### 5.4 EspritCAM

EspritCAM on DP Technologyn lippulaivatuote. DP Technologyn perusti Dan Frayssinet ja Paul Ricard vuonna 1982. CAM-järjestelmää käytetään CNC-ohjelmointiin, optimointiin ja simulointiin. Espritin vahvuus on tuottaa NC-koodia, jota ei tarvitse muokata käsin. Tähän käytetään koneen digitaalista kaksosta, joka sisältää konemallin, ohjauksen, parametrit ja postprossessorin. Sovelluksella voidaan ohjelmoida useaa erityyppistä työstökoneita esimerkiksi moniakselista työstökeskusta, monitoimisorvia tai sveitsiläistä sorvia. Lisäksi ohjelmistoa voidaan käyttää myös ainetta lisäävään valmistukseen. Suomessa EspritCAMin jälleenmyyjä on Crontek Oy. (DP Technology 2021.)

#### 5.5 MazaCAM

MazaCAM on erityisesti Mazakin työstökoneisiin optimoitu CAM-ohjelmisto. Ohjelmiston markkinoijana toimii SolutionWare Corporation. MazaCAM pystyy tuottamaan perinteisen NC-koodin lisäksi Mazatrol-koodia, jonka avulla ohjelmien muokkaaminen olisi helpompaa. MazaCAM on käytössä isoissa yrityksissä, kuten Boeing North America ja Lockheed Martin. Ohjelmisto soveltuu kuitenkin kaiken kokoisiin yrityksiin. Ominaisuuksina ohjelmistossa on MazaCAM Editor, jolla voidaan muokata koodia tietokoneella. Lisäksi ohjelmistolla voidaan kääntää valmiita Mazatrol-ohjelmia eri työstökoneille sopiviin formaatteihin. (Solutionware 2021.)

## 6 KOHTEENA OLEVAT TYÖSTÖKONEET

### 6.1 Kohde

CAD/CAM-ohjelmisto tulisi käyttöön aluksi toimeksiantajan kolmella erilaisella sorvilla. Sorvit ovat kaikki tuotannossa ja erilaisia ominaisuuksiltaan. Kaikki tarkastelun koneet olivat varustettu konetta palvelevalla robotilla. Työstettävien kappaleiden tuotantosarjojen koot vaihtelevat koneilla paljon. Sorvit on varustettu kahdella karalla, joista pääkaralla työstettäisiin ensimmäinen vaihe kappaleesta, jonka jälkeen toinen kara eli vastakara noutaisi kappaleen. Vastakaralla työstettäisiin toinen vaihe valmiiksi, jonka jälkeen robotti poimisi valmiin kappaleen. Kummallakin karalla voidaan käyttää molempia revolvereja työstämisessä.

### 6.2 Mazak HQR-250MSY

HQR-250MSY-monitoimisorvi on varustettu kahdella revolverilla sekä kahdella karalla. Molemmissa revolvereissa on pyörivät työkalut, joten ei pyörähdyssymmetrisien kappaleiden työstäminen onnistuu. HQR-250MSY on lisäksi varustettu tangonsyöttölaitteella ja sorvin sisäisellä kappalepoimurilla. Näiden avulla sorvi voi työstää kappaleita nopeammin, sillä robotilla kappaleen vaihto on hitaampaa. Kuvassa 9 on sorvi ja siinä käytössä oleva robotti.

Mazak HQR-250MSY:n ominaisuuksia:

- Suurin pyörintahalkaisija 370 mm
- Suurin sorvaushalkaisija 344 mm
- Suurin pääkaran kierrosluku 4000 k/min
- Suurin toisen karan kierrosluku 5000 k/min
- Pyörivät työkalut 5,5 kW, 6000 k/min
- Istukoiden välinen etäisyys 850 mm

MSY = ylä- ja alarevolveri pyörivillä työkaluilla, C- ja Y-akseleilla ja kahdella karalla.



Kuva 8. Mazak HQR-250MSY.

### 6.3 Mazak Integrex I-400ST

Mazak Integrex I-400ST on monitoimisorvi, joka on varustettu kääntyvällä jysintäyksiköllä ja alarevolverilla. Jysintäyksiköllä on käytössä useita työkaluja, joiden avulla voidaan valmistaa todella monimutkikkaita kappaleita. Toisin kuin revolverissa, työkalut ovat kartiokiinnityksellä jysintäyksikössä ja työkalunvaihtaja hoitaa työkalujen vaihtamisen. Alarevolverissa ei ole pyöriviä työkaluja, joten sitä käytetään vain sorvaukseen. Integrex I-400ST on työstöliikkeiltään suurin tarkastelussa olevista sorveista, joten sillä voidaan työstää suurimpia kappaleita. Kone on varustettu myös kahdella karalla ja robotilla, joiden avulla voidaan valmistaa kappale kerralla valmiiksi. Kuvassa 10 on Mazak Integrex I-400ST sekä robotin edessä olevia aihioita ja valmiiksi työstettyjä kappaleita.

Mazak Integrex I-400ST:n ominaisuuksia:

- Suurin pyörintähalkaisija 658 mm
- Suurin sorvaushalkaisija 658 mm
- Pääkara 3300 k/min, 30 kW
- Toinen kara 4000 k/min, 26 kW
- Jysintätyökalut 22 kW, 12000 k/min
- Istukoiden välinen etäisyys 1519 mm
- Y-akselin liike 260 mm

- B-akselin kääntö 240°

ST = Varustettu kahdella karalla ja alarevolverilla.



Kuva 9. Mazak Integrex I-400ST.

#### 6.4 Mazak Integrex I-200ST

Mazak Integrex I-200ST on monitoimisorvi, joka on pienempi versio I-400ST-mallista. Koneessa on samat ominaisuudet eli kääntyvä jysintäyksikkö, alarevolveri ja kaksi karaa. Pienemmästä koosta johtuen valmistettavat kappaleet ovat myös pienempiä. I-200ST-koneella työstettävät kappaleet ovat tuotantosarjoiltaan isoja, joten koneen ohjelmat tulee olla optimoituja. Kuvassa 11 on työstökone ja robotti odottamassa kappaleiden työstön valmistumista.

Mazak Integrex I-200ST:n ominaisuuksia:

- Suurin pyörintähalkaisija 658 mm
- Suurin sorvaushalkaisija 658 mm
- Pääkara 5000 k/min, 22 kW
- Toinen kara 5000 k/min, 19 kW
- Jysintätyökalut 22 kW, 12000 k/min
- Istukoiden välinen etäisyys 1519 mm
- Y-akselin liike 250 mm
- B-akselin kääntö 240°



ST = Varustettu kahdella karalla ja alarevolverilla.



Kuva 10. Mazak Integrex I-200ST.

## 7 OHJELMISTOJEN VERTAILU

### 7.1 Ohjelmistojen ominaisuudet

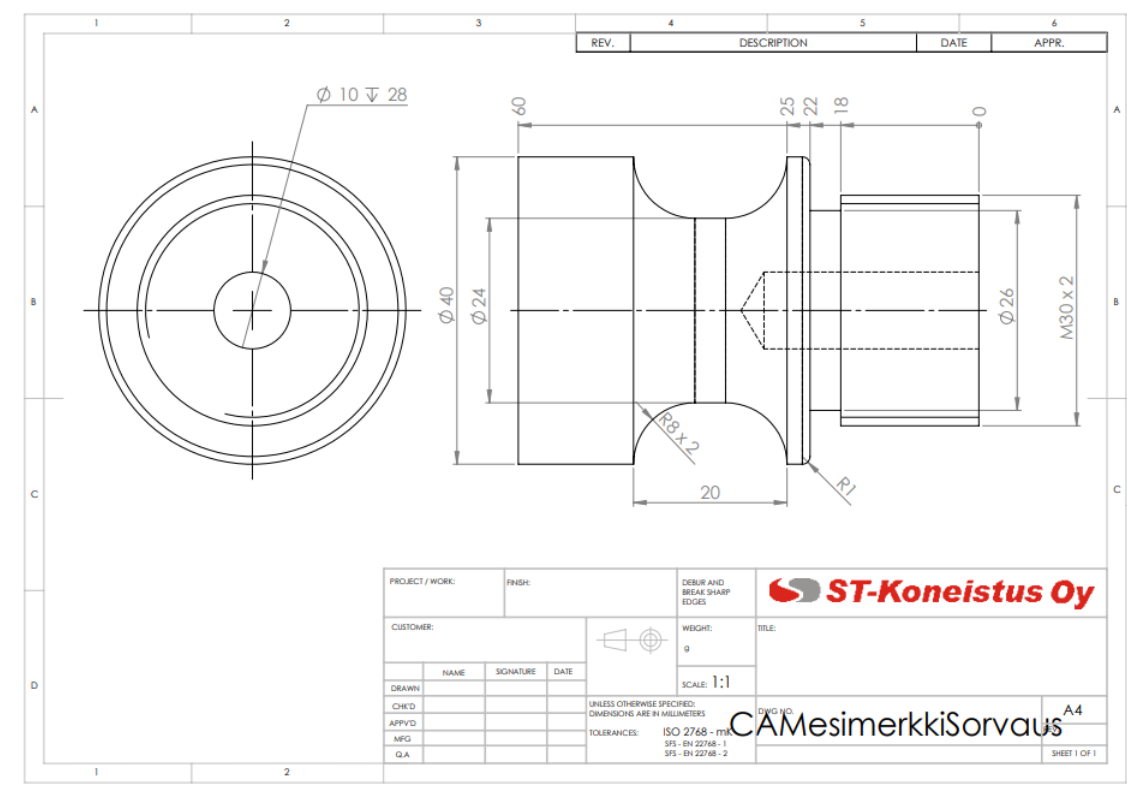
Ohjelmistojen ominaisuuksia vertaillaan toisiinsa, jotta ohjelmistot voitaisiin arvioida. Ennen testailun aloittamista tulisi määrittellä ohjelmistojen ominaisuudet ja niiden painoarvo ohjelmiston valinnassa. Ominaisuudet tulisi jakaa kahteen eri kategoriaan, jotka olisivat vaaditut ja toivotut ominaisuudet. Vaadittuihin ominaisuuksiin kuuluisivat vain tärkeimmät ominaisuudet ohjelmiston valinnan kannalta. Näihin ominaisuuksiin valittiin helppokäyttöisyys, kyky avata tiedostoja, postproessori, työkalukirjastot ja dynaamiset radat.

Helppokäyttöisyys arvio ohjelmiston käytettävyyttä, kun taas kyky avata tiedostoja määrittelee ohjelmiston kyvyn avata useiden CAD-mallinnusohjelmien erilaisia tiedostotyyppisiä. Postproessin toiminta on tärkeä ominaisuus ohjelmiston luoman NC-koodin toimivuuden takaamiseksi työstökoneissa. Työkalukirjastoa pidetään myös tärkeänä ominaisuutena, sillä ohjelmistolla tulisi olla mahdollista luoda työstöön käytettävät työkalut helposti. Lisäksi tärkeisiin ominaisuuksiin kuuluu dynaamiset työstöradat, joiden avulla savutettaisiin lyhyempi työstöaika.

Toivotut ominaisuudet olisivat pienemmällä painoarvolla valintaa tehdessä, sillä näitä ominaisuuksia ei koeta välttämättömiksi. Näihin ominaisuuksiin kuuluisi CAD-ominaisuudet, monikaratyöstö, konesimulointi, laajennettavuus sekä tuki- ja koulutusmateriaali. Yrityksellä on käytössä Solidworks-mallinnusohjelmisto, jolla luotaisiin CAD-mallit työstettävistä kappaleista, joten CAD-ominaisuuksia ei pidettäisi tärkeänä ominaisuutena. Monikaratyöstöä pidettiin aluksi tärkeänä ominaisuutena, mutta koneistajia haastatellessa todettiin parhaimmaksi ratkaisuksi hoitaa monikaratyöstö käsin ohjelmoimalla. Kun työstöradat olisivat käsin ohjelmoimassa, myös konesimulointi voisi tapahtua suoraan työstökoneilla, joten konesimulointi ominaisuuttakaan ei pidettäisi tärkeänä ominaisuutena. Laajennettavuus ominaisuus käsittelee mahdollisten lisäosien saatavuutta ohjelmistoon. Tuki- ja koulutusmateriaali koetaan toivotuista ominaisuuksista tärkeimmäksi mahdollisten ongelmatilanteiden ratkaisemiseksi.

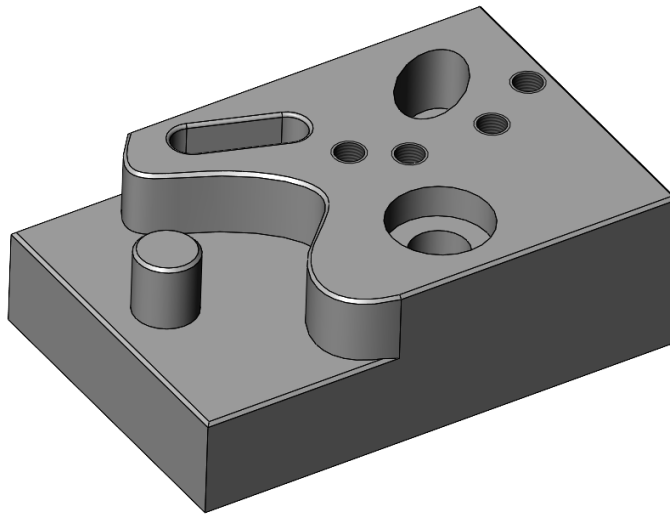
## 7.2 Ohjelmistojen testaus

Ohjelmistojen testaus aloitettiin mallintamalla Solidworks-mallinnusohjelmistolla testikappaleet. Kappaleista luotiin 3D-mallit, joista tehtiin myös 2D-piirustukset (kuva 12). Ohjelmisto tulisi käyttöön monitoimisorveille, joten myös jyrsintäominaisuutta tulee testata. Ohjelmistoista oli kuitenkin käytössä vain kokeiluversiot, joten kaikilla ohjelmistoilla ei ollut mahdollista suorittaa sorvaus- ja jyrsintätyöstöä samaan kappaleeseen, joten päätettiin luoda yksi sorvaus ja yksi jyrsintäkappale (kuva 13). Kappaleiden ohjelmoinnissa käytettäisiin useaa erilaista työstömenetelmää. Lisäksi kappaleisiin luotiin paljon erilaisia työstettäviä muotoja CAM-ohjelmien monipuolisuuden testaamiseksi.



Kuva 11. 2D-piirustus sorvauksen esimerkkikappaleesta.

Tarkempaan testaukseen sopivia CAM-ohjelmistoja oli useita, joista osasta kuitenkin puuttui vaadittavia ominaisuuksia. Testailuun valittiin lopulta FeatureCAM, MasterCAM, GibbsCAM ja EspritCAM, joista ladattiin kokeiluversiot tietokoneella suoritettavaan testailuun. MazaCAM on jo käytössä toimeksiantajalla ohjelmien tekemiseen, joten sen testausta pidettiin tarpeettomana.



Kuva 12. Jyrsinnässä käytettävä esimerkkikappale.

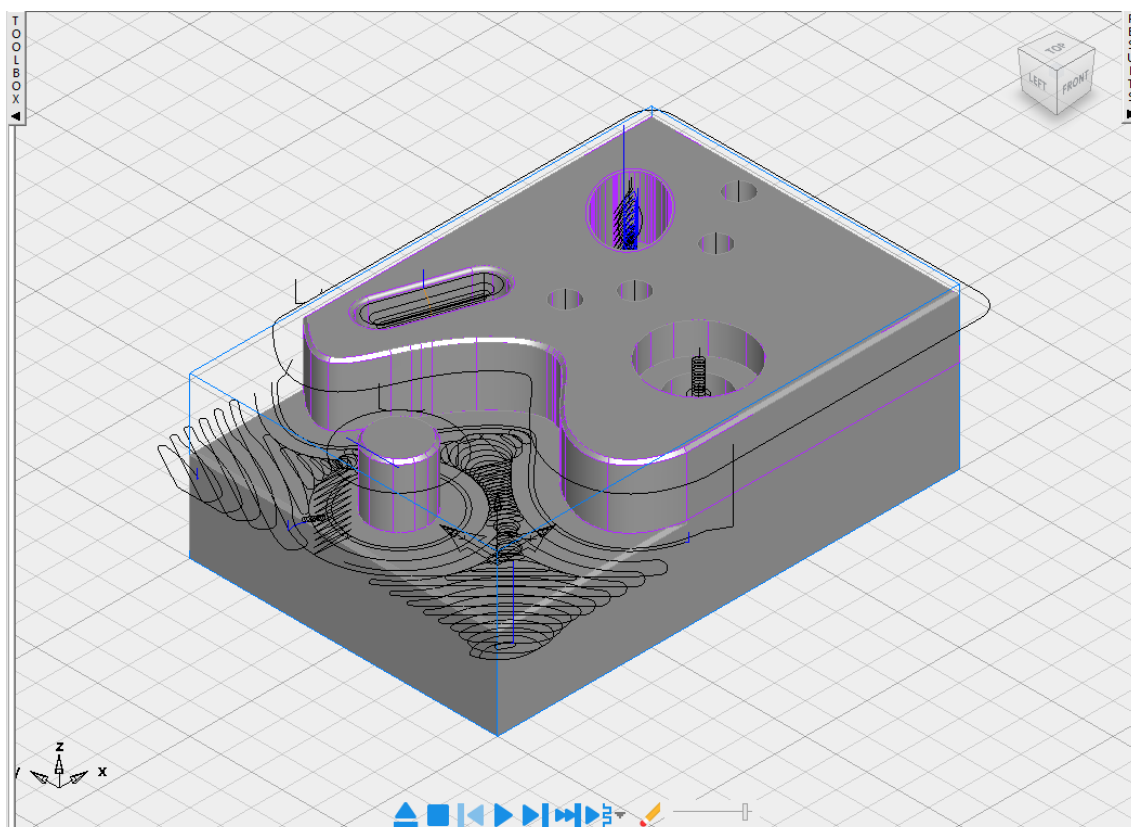
Ohjelman luominen 3D-mallista tapahtuu kuvassa 14 esitetyllä periaatteella. Aluksi ohjelmaan tuotaisiin 3D-malli, jonka ympärille luodaan aihio. Aihio on jyrsintäkappaleen muotoinen suorakulmainen särmiö. Esimerkki sorvauskappaleen valmistuksessa aihio on taas lieriö. Kun aihio on määritetty, valitaan koneistukseen käytettävä työstökone. Seuraavaksi 3D-mallista luodaan piirteitä työstöratojen luomiseksi. Jyrsinnässä piirteitä voivat olla esimerkiksi poterot tai kappaleen ulkomuodot. Sorvauksessa kappaleesta muodostetaan pyörähdysgeometria, josta saadaan sorvattavat muodot näkyviin. Seuraavaksi luodaan työstöoperaatioita, joita voivat olla esimerkiksi poteron jyrsintä tai reikien poraus. Kun halutut työstöradat on luotu, voidaan ohjelma postprosessoida työstökoneelle luettavaan muotoon NC-koodiksi.



Kuva 13. Ohjelman luomisen vaiheet (Instructables 2021).

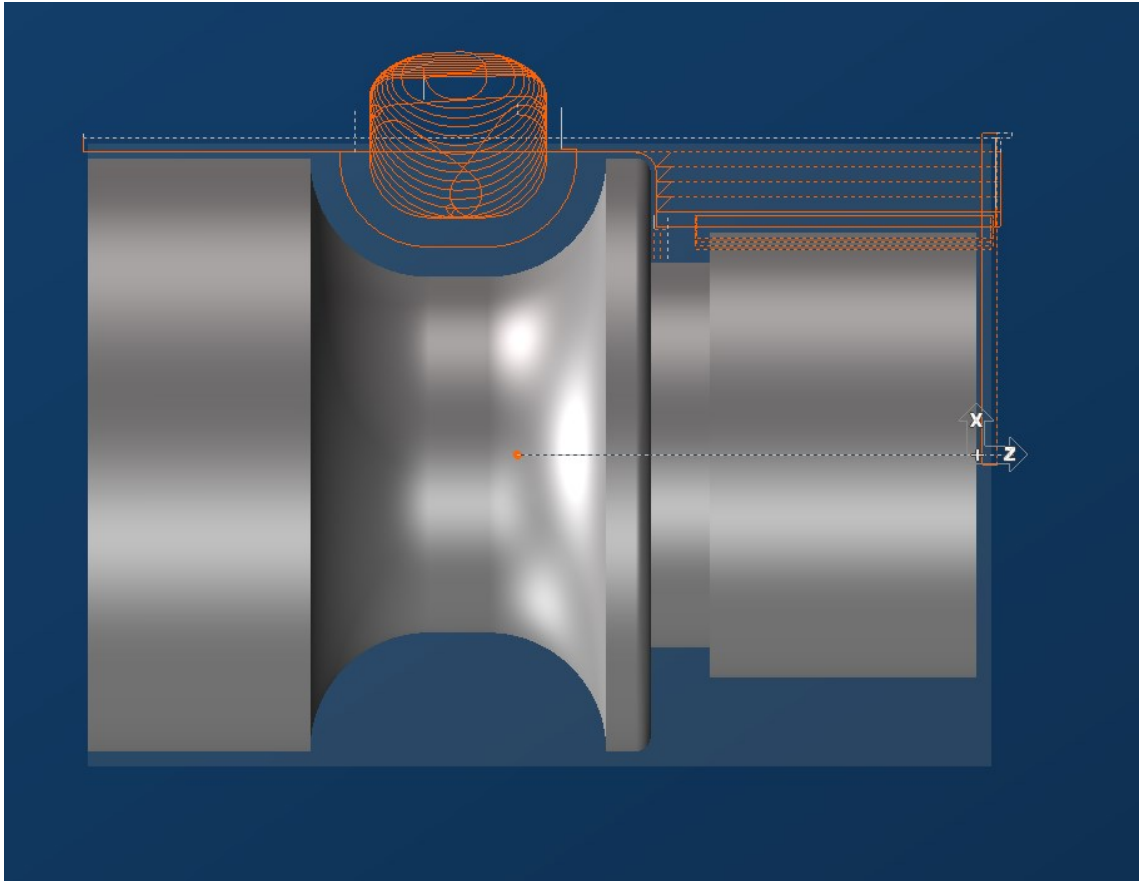
FeatureCAM oli ensimmäinen testattava ohjelmisto. Jyrsintäkappaleen ohjelmointi onnistui nopeasti automaattisten piirteiden ja työstöratojen luonnin ansiosta. Ohjelmisto

teki automaattisesti radat, joita muokkaamalla muodostui järkevä työstörata (kuva 15). FeatureCAMin sorvaus operaatioissa ilmeni kuitenkin ongelma. Ohjelma ei tue dynaamista sorvausta, jota käytettäisiin sorvattavan kappaleen uran sorvaukseen. Dynaamiset työstöradat oli vaadittava ominaisuus, joten tämän puuttumisen johdosta ohjelmisto ei soveltuisi yrityksen käyttöön.



Kuva 14. FeatureCAM-työstöradat.

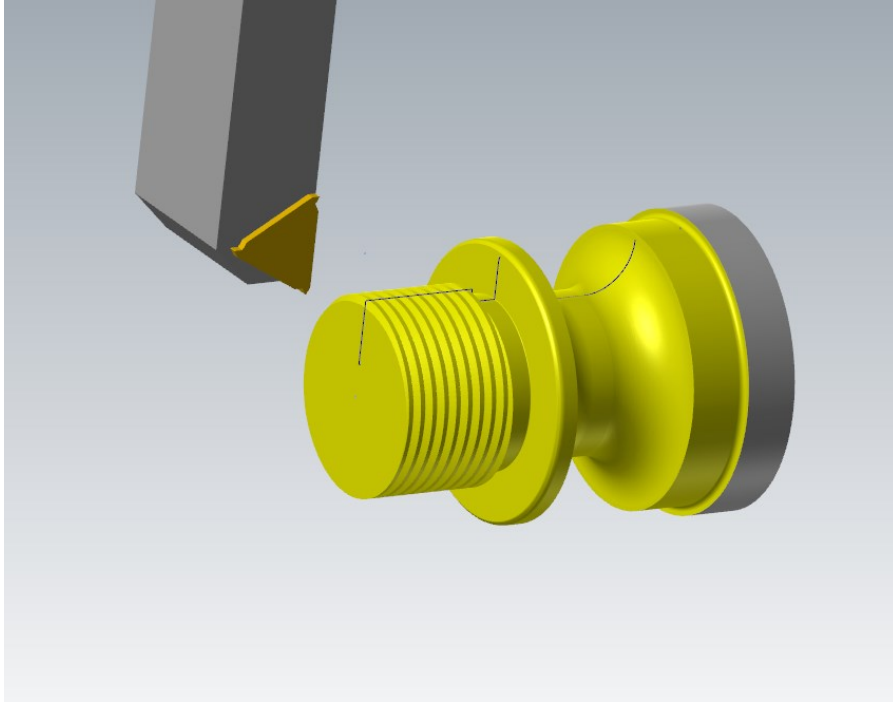
Toinen testattava ohjelmisto on GibbsCAM, jonka jälleenmyyjä kävi kesällä 2020 toimeksiantajalla esittelemässä ohjelmistoa saaden sen ominaisuudet jokseenkin tutuiksi. Ohjelmistolla työstöratojen luominen oli helppoa, vaikka ohjemateriaalia oli vähemmän saatavilla muihin ohjelmistoihin verrattuna. Lisäkoulutusta ohjelmiston käyttöön on kuitenkin saatavilla GibbsCAMin jälleenmyyjältä. Kun kaikki halutut työstöoperaatiot saatiin tehtyä, ohjelma todettiin soveltuvaksi toimeksiantajan tarpeisiin. Kuvassa 16 näkyy ohjelmistolla luodut työstöoperaatiot sorvauskappaleeseen.



Kuva 15. GibbsCAM:llä luotu sorvauskappale.

MasterCAM oli kolmas testattava ohjelmisto, josta sorvauksen esimerkkikappale on esitetty kuvassa 17. Ohjelmiston käytöstä oli aikaisempaa kokemusta, joten ohjelmien luominen oli helppoa. Etenkin työstöparametrien muuttaminen on yksi MasterCAMin vahvuus. Kun tietokoneen hiiren vie parametrien valikon päälle, avautuu ponnahdusikkuna, josta selviää parametrin tarkemmat ohjeet. Lisäksi MasterCAM on myös verkkosivujensa mukaan maailman suosituin CAM-ohjelmisto, joten oppimateriaalia on saatavilla runsaasti. Ohjelmistossa oli kaikki vaaditut ominaisuudet ja se koetaan yritykselle sopivaksi.

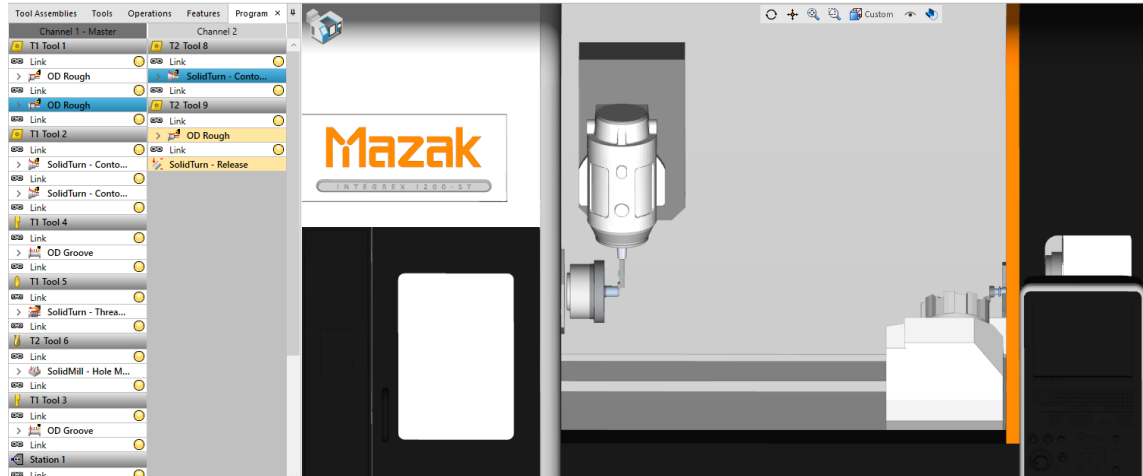
MasterCAMin jälleenmyyjän kanssa käydyistä keskusteluista selvisi monien heidän asiakkaidensa käyttävän pääohjelmana Mazatrolia. Vaativien työstöratojen ohjauksessa asiakkaat käyttäisivät MasterCAMin luomaa koodia aliohjelmana. Tällöin pääohjelma pysyisi koneistajille helposti muokattavana.



Kuva 16. MasterCAM-sorvauskappale.

Viimeinen ohjelmisto testauksessa oli EspritCAM. Ohjelmiston kokeiluversiota ei saanut suoraan ladattua internetistä, joten ohjelmiston jälleenmyyjä kävi asentamassa sen. Samalla jälleenmyyjä esitteli ohjelmiston ominaisuuksia ja käyttöä. EspritCAMistä saatiin käyttöön täydellinen versio, jossa oli tarjolla koneiden konemallit sekä postproessorit. Ohjelmistossa oleva konemalli on esitetty kuvassa 18.

Piirteiden luominen tuntui hieman hankalalta aluksi, mutta pienen opettelun jälkeen ohjelman käyttö sujui ongelmitta. Koska käytössä oli täydellinen versio ohjelmistosta, kappaleen valmistamiseen käytettiin monikaratyöstöä. Monikaratyöstössä oli tarkoituksena sorvauskappaleen ensimmäisen vaiheen koneistaminen monitoimisorvin ylärevolverilla, kun taas alarevolverilla työstettiin kappaleen toinen vaihe vastakaralla.



Kuva 17. Konemalli Mazak Integrex I-200ST.

### 7.3 Valinta

Valintaprosessiin käytettiin ohjelmien ominaisuuksien arviointia toisiinsa nähden. Ominaisuuksilla olisi tärkeyden määrittelemiseksi kerroin, josta suurimmalla kertoimella olevia pidettiin hyödyllisimpänä. Kertoimena toimiva arvo kerrottiin ohjelmiston ominaisuudesta saamalla arvosanalla, josta muodostuisi pisteet, jotka lopuksi laskettaisiin yhteen. Pisteiden avulla voitaisiin arvioida ohjelmistojen eroja toisiinsa ja saada varmuutta valinta perusteille. Taulukossa 1 on lopullisten pisteiden määrä, joita eniten sai MasterCAM.

Taulukko 1. Vertailutaulukko.

	Ominaisuus	Kerroin	Arvosana	FeatureCAM	Arvosana	GibbsCAM	Arvosana	EspritCAM	Arvosana	MasterCAM
Vaativuudet	Helppokäyttöisyys	5	5	25	5	25	3	15	5	25
	Kyky avata tiedostoja	5	5	25	5	25	5	25	5	25
	Postproessori	5	3	15	5	25	5	25	5	25
	Työkalukirjastot	5	4	20	5	25	5	25	5	25
	Dynaamiset radat	5	0	0	5	25	5	25	5	25
Toivomukset	CAD-ominaisuudet	2	5	10	3	6	3	6	3	6
	Monikaratyöstö	2	3	6	5	10	5	10	4	8
	Konesimulointi	2	2	4	5	10	5	10	4	8
	Laajennettavuus	3	4	12	5	15	4	12	5	15
	Tuki- ja koulutusmateriaali	4	5	20	2	8	4	16	5	20
	Tulos			137		174		169		182



## 8 YHTEENVETO

CAM-ohjelmiston tarkoitus on tuoda monia hyötyjä yrityksen valmistusprosessiin. Esimerkiksi valmistusaikojen lyheneminen tehokkaampien työstöratojen avulla on merkittävä hyöty. Myös yhtenä hyötynä voidaan pitää ohjelmien nopeaa simulointia, jota voidaan käyttää työstöohjelmien törmäystarkastelussa tai tarjouslaskennassa. Usein yrityksiin kuitenkin hankitaan kalliita ohjelmistoja, joita kukaan ei käytä. Tämä usein johtuu uusien ohjelmistojen opetteluun kokemisesta hankalaksi ja turhaksi. Ohjelmiston tulisi siis olla helppokäyttöinen, ja sen tulisi tuoda merkittävä hyöty valmistukseen, jotta ohjelmistoa ryhdyttäisiin käyttämään.

CAM-ohjelmiston tarve yritykselle on lähinnä tuottaa tehokkaampia työstöratoja koneistusaikojen lyhentämiseksi. Nykyisellä ohjelmoinnilla saavutetaan kaikki halutut muodot kappaleisiin, mutta vaikeiden muotojen ohjelmoiminen Mazatrolilla on haastavaa. Tähän CAM-ohjelmisto olisi yksi ratkaisu. Lisäksi tarjouslaskennan tueksi ohjelmistolla voitaisiin luoda nopeasti suuntaa antavia koneistusaikoja.

CAD-ominaisuuksien tarkastelua ei otettu juurikaan huomioon, sillä yrityksessä on käytössä Solidworksin CAD-ohjelmisto, jolla suoritetaan kappaleiden mallintaminen. Kuitenkin ohjelmistoista tutkittiin joitain mallinnusominaisuuksia, kuten esimerkiksi 3D-mallien pintojen siirtämistä. Tätä ominaisuutta tarvittaisiin kappaleisiin, jotka on mallinnettu eri mittaan kuin piirustuksissa. Tällaisia ovat esimerkiksi tietyt toleroidut mitat, joissa piirustuksissa oleva mitta poikkeaa mallinnetun kappaleen mitasta.

Tarkasteluun valittiin aluksi FeatureCAM, GibbsCAM, MasterCAM ja EspritCAM. Vertailussa selvisi kaikissa testattavissa CAM-ohjelmistoissa olevan paljon yhteneväisyyksiä. Vaaditut ominaisuudet, kuten dynaamisten työstöratojen luominen, onnistui hyvin kaikilla ohjelmistoilla FeatureCAMiä lukuun ottamatta. Tästä syystä FeatureCAMiä ei pidetty soveltuvana toimeksiantajan tarpeisiin.

Jäljellä olevilla kolmella ohjelmistoilla saavutettaisiin merkittävää hyötyä eli tehokkaampia työstöratoja valmistusprosessissa. Ohjelmistoilla on kuitenkin omat vahvuutensa. GibbsCAM tuntui helppokäyttöisimmältä, kun taas MasterCAMilla on laaja käyttäjäkunta auttamaan ongelmatilanteissa. EspritCAMin vahvuutena on tarkka simulointi. Kaikissa näissä ohjelmistoissa oli vaaditut ominaisuudet, joten niitä pidettiin soveltuvana yrityksen käyttöön.

Vertailussa todettiin, että MasterCAM olisi paras vaihtoehto vertailutaulukon ja yrityksen työntekijöiden aikaisemman käyttökokemuksen vuoksi. Aikaisempi kokemus ohjelmistosta edesauttaisi oppimista. Jälleenmyyjän mukaan heidän asiakkaansa käyttävät ohjelmistoa tukena Mazakin omaan ohjaukseen. CAMilla tehtäisiin siis aliohjelmina vaikeat työstöradat pääohjelman ollessa Mazatrollia. Mazatrollilla ohjelmointi koetaan tarpeeksi tehokkaaksi tavaksi tehdä yleiset työstöradat. Lisäksi koneistajilla on laaja kokemus Mazakeista, joten ohjelmia on helppo hienosäätää ja muokata työstökoneella. CAM-ohjelmistolla tehtyjen ohjelmien muokkaaminen vaatisi uudelleen postprosessoinnin, jota pidettiin hankalana ja työläänä. Lisäksi koneet on varustettu ohjaukseen sisäänrakennetulla konesimuloinnilla, joten koneistajat voivat itse simuloida ohjelmat ennen varsinaista sisäänajoa. Konesimulointi helpottaa kappaleiden sisäänajoa merkittävästi.

MazaCAM on käytössä yrityksessä lähinnä ohjelmien kääntämiseen ja kaiverrustyöstöraton tekemiseen. Jotta samoja kappaleita voitaisiin työstää eri koneilla, ohjelmien kääntäminen on välttämätön ominaisuus. Kaiverrustyöstöraton taas tarvitaan erillisten tekstin kirjoittamiseen kappaleisiin. MazaCAM-Editorilla tehtäviä ohjelmia pidettiin riittävän tehokkaana tapana normaaleihin työstöraton.

## 9 POHDINTA

Opinnäytetyön aiheena oli CAM-ohjelmistojen testaus ja niiden soveltuvuus toimeksiantajan käyttöön. Kokemukseni koneistamisesta helpottivat ohjelmistojen tarkastelua. Lisäksi yrityksen työntekijöiden ja ohjelmistojen jälleenmyyjien kanssa käydyt keskustelut vahvensivat näkemyksiäni tarkastelussa. Etenkin työntekijöiltä tulleet huomiot ohjelmistolta vaadittavista ominaisuuksista olivat tarpeellisia.

Ohjelmistoista ladatut kokeiluversiot poikkesivat toisistaan merkittävästi. Tämä vaikeutti perusteellisen käsityksen saantia ohjelmiston toimivuudesta. Esimerkiksi EspritCAM tarjosi täyden version konemalleilla ja postprosessorilla, joten ohjelmat voitiin simuloida tarkasti halutulla työstökoneella ja niiden kaikki ominaisuudet oli mahdollista testata. Tätä mahdollisuutta ei ollut muilla ohjelmistoilla, joten niiden konesimulointiominaisuuksia ei pystytty tarkastelemaan. Lisäksi monitoimisorveissa olevaa jrsintäominaisuutta ei pystytty testaamaan, sillä kaikissa ohjelmistoissa ei pystynyt jrsimään sorvauskappaletta.

Ohjelmistojen tarkastelu eteni aikataulun mukaan. Kokeiluversioiden lataaminen ja testailu edistyi aikataulussa ja jälleenmyyjiltä saatiin kysymyksiin vastauksia nopeasti. Suunnitelmien mukaan oli tarkoitus testata jokaisella ohjelmistolla sorvaus- ja jrsintäominaisuuksia. Kaikilla ohjelmistoilla päästiin haluttuun lopputulokseen ja järkevät työstöradat saatiin luotua. Ohjelmistojen oppimateriaaleja käyttämällä suuremmilta ongelmilta vältyttiin.

Opinnäytetyön rajaus oli mielestäni sopiva, sillä kaikki ohjelmistot saatiin testattua. Rajauksena alussa arvioitiin tarkasteltavien ohjelmien sopivaa lukumäärää ja mielestäni siinä onnistuttiin. Jos tarkasteltavia ohjelmia olisi ollut liian monta, niihin ei olisi pystynyt perehtymään tarpeeksi. Lisäksi liian monen eri ohjelmiston käytön opettelu olisi ollut liian työlästä.

Opinnäytetyö onnistui kokonaisuudessaan hyvin, jonka avulla saatiin sopiva CAM-ohjelmisto toimeksiantajan tarpeisiin. Ohjelmistojen valinnassa hyödynnettiin työntekijöiden haastatteluja sekä jälleenmyyjien vastauksia esitettyihin tarpeisiin. Opinnäytetyön avulla selvitettiin ohjelmistojen käyttö osana nykyistä ohjelmointikäytäntöä. Mielestäni opinnäytetyössä saadaan selkeä käsitys, miten CAM-ohjelmiston avulla voidaan tehostaa nykyistä tuotantoprosessia.

## LÄHTEET

- Autodesk Inc. 2021. FeatureCAM. Viitattu 27.05.2021  
<https://www.autodesk.com/products/featurecam/overview>.
- Camcut Oy 2021a. Mastercam dynaaminen sorvaus. Viitattu 27.05.2021  
<https://www.camcut.fi/tuki/ohjeet/mastercam-dynaaminen-sorvaus/>.
- Camcut Oy 2021b. Mastercam dynaaminen jysintä. Viitattu 27.05.2021  
<https://www.camcut.fi/tuki/ohjeet/mastercam-dynaaminen-jysinta/>.
- Camcut Oy 2021c. Mastercam. Viitattu 27.05.2021  
<https://www.camcut.fi/ohjelmistot/mastercam/>.
- Complete Solutions Inc. 2021. What is CNC Post Processor. Viitattu 02.07.2021  
<https://complete.com/cnc-post-processor/>.
- Cenic Finland Oy 2021. Gibbscam faktoja. Viitattu 27.05.2021  
<https://www.cenic.fi/tuotteet/gibbscam/gibbscam-faktoja/>.
- DP Technology 2021. Esprit . Viitattu 27.05.2021 <https://www.espricam.com/what-we-do>.
- Eurometalli. 2021. Simulaatiolla varmuutta työskentelyyn. Eurometalli. 4 (2021), 8-9.
- Groover, Mikell P. 1996. Fundamentals of modern manufacturing. 4 painos. John Wiley & Sons.
- Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 1995. Valmistustekniikka. 5. uudistettu painos. Otatieto.
- Instructables 2021. Introduction to turning. Viitattu 28.05.2021 <https://www.instructables.com/Introduction-to-Turning/>.
- Radhakrishnan, P., Subramanyan, S. & Raju, V. 2008. CAD/CAM/CIM. 3 painos. New Age International (P) Ltd., Publishers.
- Sandvik Coromant Oy 2021a. Horizontal multi-task machines. Viitattu 18.06.2021  
<https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/milling/pages/cutter-path-and-chip-formation.aspx>.
- Sandvik Coromant Oy 2021b. Työstörata ja lastunmuodostus jysinnässä. Viitattu 27.05.2021  
<https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/machine-tooling-solutions/machines/pages/multi-task-machines-horizontal.aspx>.
- Solutionware Corporation 2021. Mazacam. Viitattu 28.05.2021 <http://www.mazacam.com/>.
- ST-Koneistus Oy 2021. Uutiset. Viitattu 20.05.2021. <https://www.st-koneistus.fi/uutiset/>.
- Sääski, J., Salonen, T. & Paro, J. 2007. STEP-NC:n hyödyntämisen vaikutukset verkostomaiseen tuotantoon. Viitattu: 27.05.2021  
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/workingpapers/2007/W75.pdf>.
- Wihuri Oy 2021. Työstökoneet. Viitattu 07.06.2021  
<https://www.tekninenkauppa.fi/tuoteryhmat/tyostokoneet/mazatrol-ohjaukset>.
- Xue, J. 2018. Integration of CAD/CAPP/CAM. Berlin: Boston: De Gruyter.