

Matti Porkola

**TUOTANTOKETJU MALLISTA NC-VALMISTUKSEEN**

# **TUOTANTOKETJU MALLISTA NC-VALMISTUKSEEN**

Matti Porkola  
Opinnäytetyö  
Syksy 2015  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, auto- ja kuljetustekniikka

---

Tekijä: Matti Porkola  
Opinnäytetyön nimi: Tuotantoketju mallista NC-valmistukseen  
Työn ohjaaja: Eero Korhonen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2015 Sivumäärä: 37 + 0 liitettä

---

Opinnäytetyössä perehdyttiin geometrian mallintamisen eri vaihtoehtoihin. Työn kohteena oli aiemmin hankittu CNC-jyrsin, jonka ohjauselektronikka päivitettiin mittatarkkuuden, luotettavuuden ja työstönopeuden parantamiseksi.

Työssä suunniteltiin ja valittiin CNC-jyrsimen ohjauselektronikan komponentit ja konenäössä käytettävä digitaalimikroskooppi. Asennuksessa tarvittavista kannakkeista luotiin 3D-mallit ja niiden perusteella työstöradat. Työssä käsiteltiin CAM-ohjelmistolla suoritettava työratojen luonti ja perehdyttiin g-koodiin.

CNC-jyrsimen ohjauselektronikka saatiin rakennettua. Päivitettäviin komponentteihin kuuluivat askelmoottoriohjain, LPT-muunnin ja johtosarjat. Työstötarkkuus, nopeus sekä luotettavuus paranivat huomattavasti. Konenäöllä onnistuttiin skannaamaan kaksikulotteisia kappaleita kohtalaisella menestyksellä. Ongelmiksi muodostuivat taustavalon heijastuminen kirkkaalta pinnalta takaisin kameran linssiin sekä ohuen kappaleen valon läpäisy. Edellä mainitut ongelmat ratkesivat osittain maalaamalla kappale vesiliukoisella hiusvärillä.

---

Asiasanat: CNC, CAM, CAD, konenäkö

## **ALKULAUSE**

Kiitän opinnäytetyön ohjaajaa yliopettaja Eero Korhosta. Haluan myös kiittää insinööri Petteri Ponnikasta, insinööri Jussi Kerästä, insinööri Jarkko Argillanderia, CNC-asiantuntija Anton Murolaa sekä moottoriasiantuntija Jari Järvistä tuesta työssä. Kiitokset kuuluvat myös avopuolisolleni Tiina Anttilalle.

Oulussa 28.12.2015

Matti Porkola

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 GEOMETRIAN LUONNIN VAIHTOEHDOT	8
2.1 Mittaus perinteisillä mittavälineillä	8
2.2 Valokuva	10
2.3 Skannaaminen	12
2.4 Skannaus konenäöllä	15
2.5 3D-mittapää	15
3 CAM-OHJELMOINTI	16
3.1 Geometrian tuonti	16
3.2 Operaatiot	20
3.3 Työstöratojen luonti	20
3.4 Simulointi	20
3.5 Postprosessointi	21
3.6 NC-koodi	22
4 CNC 6040 JYRSIMEN OHJAUKSEN RAKENTAMINEN	24
4.1 CNC-jyrsimen ohjauksen toiminnan selvitys	24
4.2 Tietokone	25
4.3 Ohjainkortin valinta	26
4.4 Askelmoottorihjain ja johtosarjat	26
5 KONENÄÖN RAKENTAMINEN	29
5.1 Mikroskoopin ja ohjelmistojen valinta	29
5.2 Kiinnikkeiden suunnittelu ja mikroskoopin asentaminen	29
5.3 Ohjelmistojen yhteensopivuus ja kalibrointi	31
6 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	35

## SANASTO

CAD	tietokoneavusteinen piirtäminen ja suunnittelu (englanniksi Computer Aided Design)
CAM	tietokoneavusteinen valmistus (englanniksi Computer Aided Manufacturing)
CNC	tietokoneistettu numeerinen ohjaus (englanniksi Computerized Numerical Control). Molempia termejä NC ja CNC käytetään nykyisin samasta asiasta
NC	numeerinen ohjaus, joka tarkoittaa työstökoneen käyttöä jonkin sovitun koodin mukaisilla komennoilla; ohjauselektronikka muuttaa komennot servo- tai askelmootoreiden liikkeiksi (englanniksi Numerical Control)

# 1 JOHDANTO

Työssä tehdään kokonaisvaltainen katsaus kappaleiden mittauksen ja mallinnuksen käytössä oleviin tekniikoihin ja menetelmiin. Työssä perehdytään NC-tekniikkaan tarjolla oleviin teknisiin ratkaisuihin ja rakennetaan NC-työstökoneen ohjaus.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutustua nykyiseen CNC-jyrsimen ohjausjärjestelmään ja korvata nykyaikaisemmilla komponenteilla. Ohjainmuutoksen jälkeen laite tullaan kalibroimaan, jolloin varmistetaan uusien komponenttien yhteensopivuus muun laitteen kanssa. Työssä tutustutaan myös konenäön käyttämiseen mitoituksen perustana ja 2D-CAD-kuvan piirtämisessä.

Ensimmäisessä vaiheessa tutustutaan geometrian luonnin eri vaihtoehtoihin. Toisessa vaiheessa tutustutaan nykyisen NC-koneen elektroniikkaan ja valitaan vaihdettavat komponentit. Kolmannessa vaiheessa valitaan käytettävät ohjelmistot ja kalibroidaan laite toimimaan vaihdettujen osien kanssa.

Työssä rakennetaan ja testataan mittauksesta ja mallinnuksesta työstöratojen luontiin ja kappaleiden koneistamiseen ja tuotettujen kappaleiden mittauksen sisältävä kokonainen tuotantoketju käyttäen harrastajalle sopivia teknisiä ratkaisuja.

Tarve työlle syntyi tarpeesta pystyä mallintamaan tasomaisia kappaleita edullisesti, nopeasti ja mittatarkasti. Ennalta tiedettiin markkinoilla olevan kosketukseen perustuvia mittapäitä, mutta niiden hinnat ovat tuhansia euroja, joten niiden soveltuvuus tähän työhön suljettiin pois.

## **2 GEOMETRIAN LUONNIN VAIHTOEHDOT**

Geometrisen mallintamisen tavoitteena on fyysisen kohteen muotoa esittävien tietorakenteiden luominen, käsittely ja siirtäminen muototietoja tarvitsevien sovellusten käyttöön. Geometrinen malli on siten kuvaus fyysisen kohteen geometrisesta muodosta. Geometrinen mallinnin (geometrit modeller) on ohjelmisto, jolla voidaan luoda ja käsitellä geometrisia malleja. (1, s. 39.)

Seuraavassa käsitellään geometrian luonnin eri vaihtoehtoja. Eri menetelmien prosesseissa on eroja ohjelmistoissa, työkaluissa ja jälkikäsitelyyn käytettävässä ajassa.

### **2.1 Mittaus perinteisillä mittavälineillä**

Kappale voidaan mallintaa käyttäen perinteisiä mittavälineitä. Prosessissa piirretään paperille luonnos, johon piirretään tarpeelliset mittaviivat. Seuraavaksi kappale mitataan ja mitat kirjoitetaan mittaviivoille.

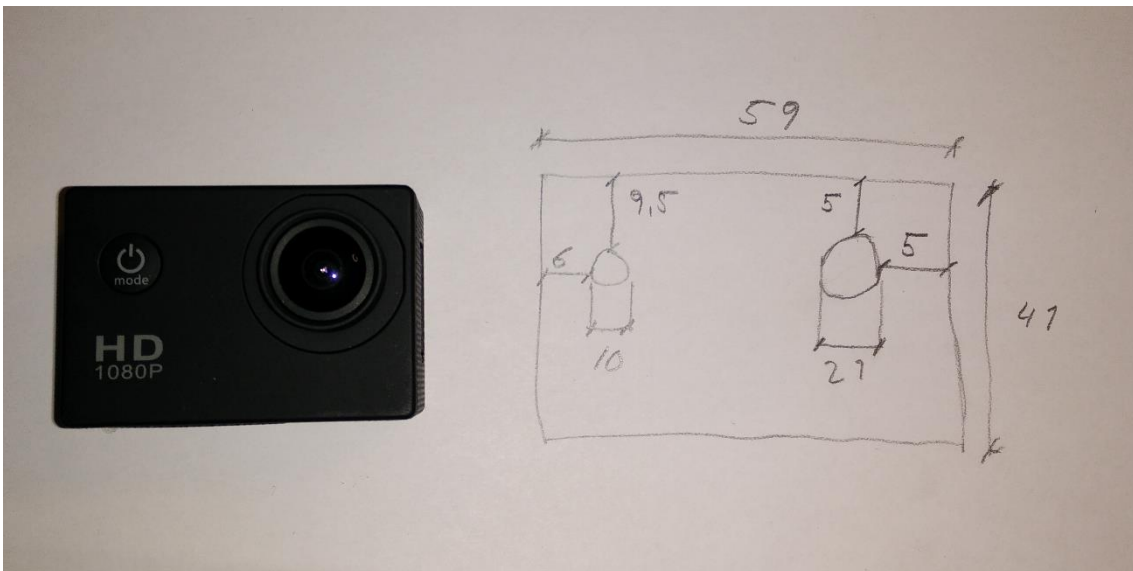
Kappaleen mittauksessa voidaan käyttää mittavälineinä rullamittaa, viivainta, työntömittaa ja mikrometriä. Mittavälineen valinnassa päädyttiin käyttämään työntömittaa, koska se soveltuu parhaiten sisäpuolisten muotojen, syvennysten ja pienten ulokkeiden mittaamiseen sen ulkonevien leukojen ansiosta, kuten kuvassa 1 on esitetty.





*KUVA 1. Kappaleen mittaus työntömitalla*

Kuvassa 2 on esitetty lyijykynällä piirretty luonnos. Siihen on mitoitettu olennaiset mitat, pyöristettynä lähimpään täyteen millimetriin.

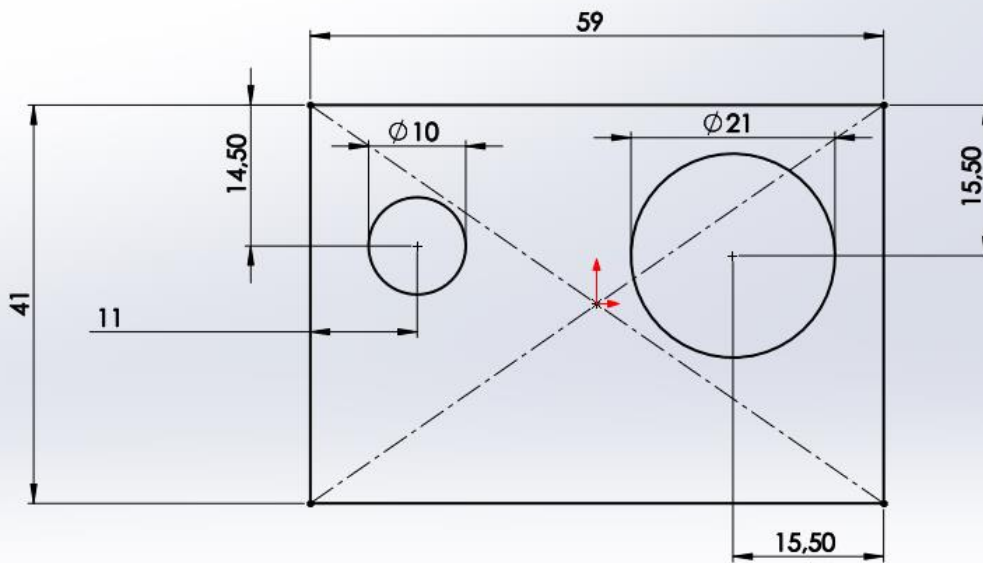


*KUVA 2. Käsin piirretty luonnos*

Tietokoneavusteiseksi suunnitteluohjelmaksi valittiin Dassault Systemsin Solidworks 2014, koska siitä oli saatavissa ilmainen opiskelijaversio. Sen

käyttöä tuetaan myös Oamkin koneosastossa, niin pakollisilla, kuin valinnaisillakin kursseilla.

Solidworksilla piirretty mittakuva (kuva 3) eroaa luonnoksesta (kuva 2) mittojen esitystavan suhteen. Luonnoksen mitat on esitetty ympyrän reunan suhteen, kun ohjelmistolla piirretyssä kuvassa mitoitus on tehty ympyröiden keskipisteiden etäisyytenä reunasta.

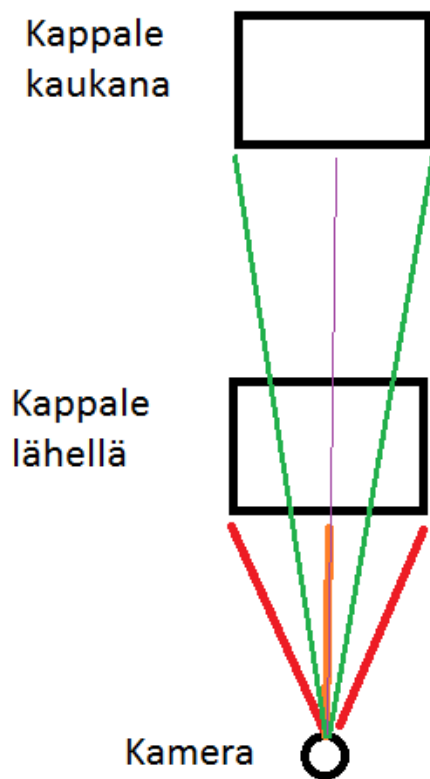


*KUVA 3. Solidworks-ohjelmistolla piirretty mittakuva*

Mallinnustavan hyötyjä ovat, ettei siihen liity optista vääristymää, piirrosta ei tarvitse jälkikäsitellä ohjelmistolla ja mittaus on verrattain yksinkertainen toteuttaa. Hyödyksi katsottaneen mittavälineiden yksiselkoinen lukeminen, jolloin mittausepävarmuus on hyväksyttävällä tasolla.

## **2.2 Valokuva**

Kappaleesta voidaan luoda kaksiulotteinen CAD-piirros valokuvan pohjalta. Ensimmäisessä vaiheessa kamera asetetaan samalle tasolle kuvattavan kappaleen kanssa, siten että kappaleet ovat mahdollisimman kaukana toisistaan. Tällä ehkäistään perspektiivistä johtuvaa vääristymää, joka on esitetty kuvassa 4.

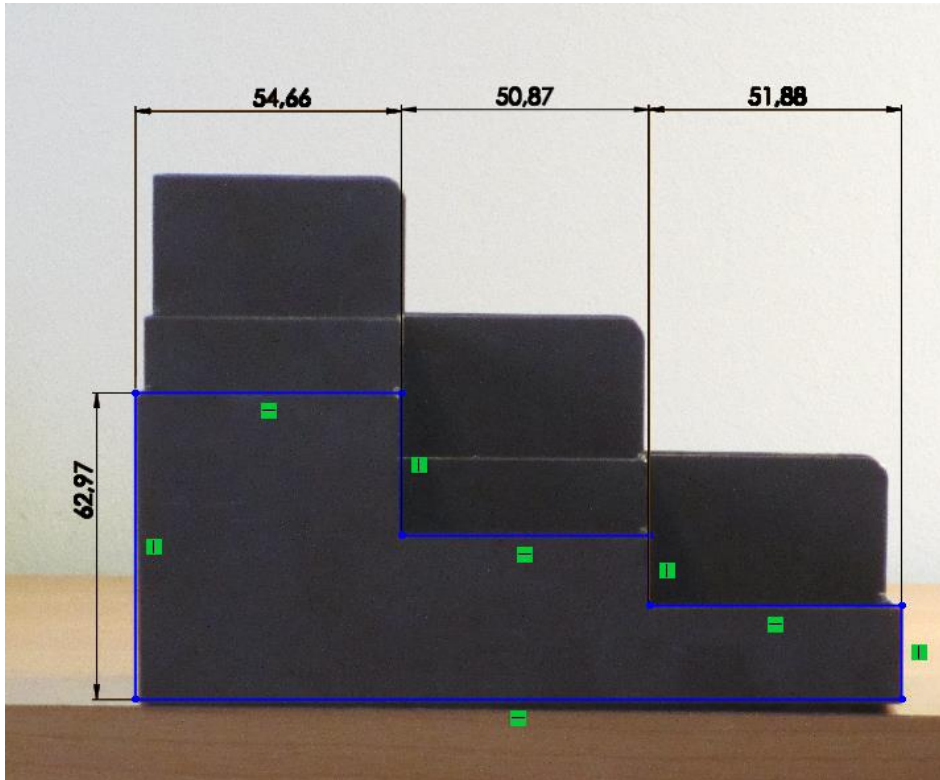


*KUVA 4. Optinen vääristymä*

Optinen vääristymä on sitä suurempi, mitä lähempänä kuvattava kappale on. Vääristymän voimakkuus on suoraan verrannollinen kameran linssin ja kappaleen ääri viivojen väliin jäävän kulman suhteen.

Kappale kohdistetaan kameran kanssa samalle tasolle, mahdollisimman kauaksi toisistaan. Kameran objektiivi lähennetään mahdollisimman lähelle, tarkennetaan ja otetaan kuva.

Kuvatusta kappaleesta mitataan jokin sivu, jolloin saadaan kappaleelle mittakaava. Kuva liitetään SolidWorksiin ja piirretään mitatun sivun pituinen viiva, jonka jälkeen kuva skaalataan vastaamaan mitatun sivun pituutta (kuva 5). osoittamalla tavalla.



*KUVA 5. Kappaleen piirtäminen kuvasta*

Mittaviivojen suhteesta kappaleen reunoihin voidaan todeta optisen vääristymän olevan läsnä kuvassa 5. Kappaleen kolmiulotteisen muodon takia mittaviivan ja kauemman äärirajan väliin jää väliä, joka kasvaa kappaleen syvyyden kasvaessa. Tämä on havaittavissa myös kuvan oikealla puolella.

### **2.3 Skannaaminen**

Tasomaisen kappaleen mallintamisessa voidaan käyttää avuksi skanneria. Yleisin käytössä oleva skannerin koko on A4, joka asettaa rajat kappaleen koolle. ISO 216 standardin mukainen A4 paperin koko on 210x297 millimetriä. Skannauslasin koko on yleensä joitakin senttimetrejä A4 paperin mittoja suurempi, riippuen laitteen valmistajasta.

Skannattava kappale asetetaan skannerin lasilevyn päälle, kansi suljetaan ja kuvanlukija tallioi kappaleen kuvaksi. Skannattu tiedosto voidaan muuntaa erillisellä ohjelmistolla suoraan vektoreiksi, jolloin jälkikäsitteilyä ei tarvita. Toinen vaihtoehto on liittää kuva tietokoneavusteiseen suunnitteluohjelmistoon ja piirtää kuvan ääriviivat käsivaraisesti. Kolmas vaihtoehto on käyttää

SolidWorks-ohjelmiston autotracer työkalua, joka muuntaa käyttäjän avustuksella pikselit vektoreiksi.

Autotracer.org on ilmainen, selainpohjainen kuvan vektorointiin tarkoitettu sivusto. Vektoroinnilla tarkoitetaan rasterikuvan muuntamista viivakuvaksi (3) Liitettävän tiedoston koon rajoitus on 1 megabitti, ulostulevan tiedoston muodon vaihtoehtoja ovat SVG, EPS, PDF, XFIG 3.2 ja DXF. Kuvatiedoston muodon vaihtoehdot ovat PNG, BMP, JPEG ja GIF. Edistyneiden käyttäjien vaihtoehdoissa voidaan säätää valittavien värien määrää, suoran linjan tunnistusta sekä kohinaa (kuva 6).

**Autotracer.org** EN DE ES  
Converts your raster images to vector graphics.

Home About Privacy Contact [Donate](#)

### Welcome to the free online image vectorizer

Convert raster images like JPEGs, GIFs and PNGs to scalable vector graphics (EPS, SVG, and PDF) with this free online vectorizer.  
You don't believe that a free online service will deliver usable results? Give it a try and save time and money.

**Upload a file:**  
Valitse tiedosto | Ei valittua tiedostoa  
PNG, BMP, JPEG or GIF / Max. filesize: 1 MB !

Select Output format:

[Show advanced options >>](#)

Number of colors:  Number of colors the image will be reduced to before it is vectorized. Range: 2-256.  
Line Offset:  Defines the maximum allowable offset for a straight line before it will be rendered as a curve. Range 1-10.  
Noise Reduction:  Defines the level of noise reduction. Range 1-10.

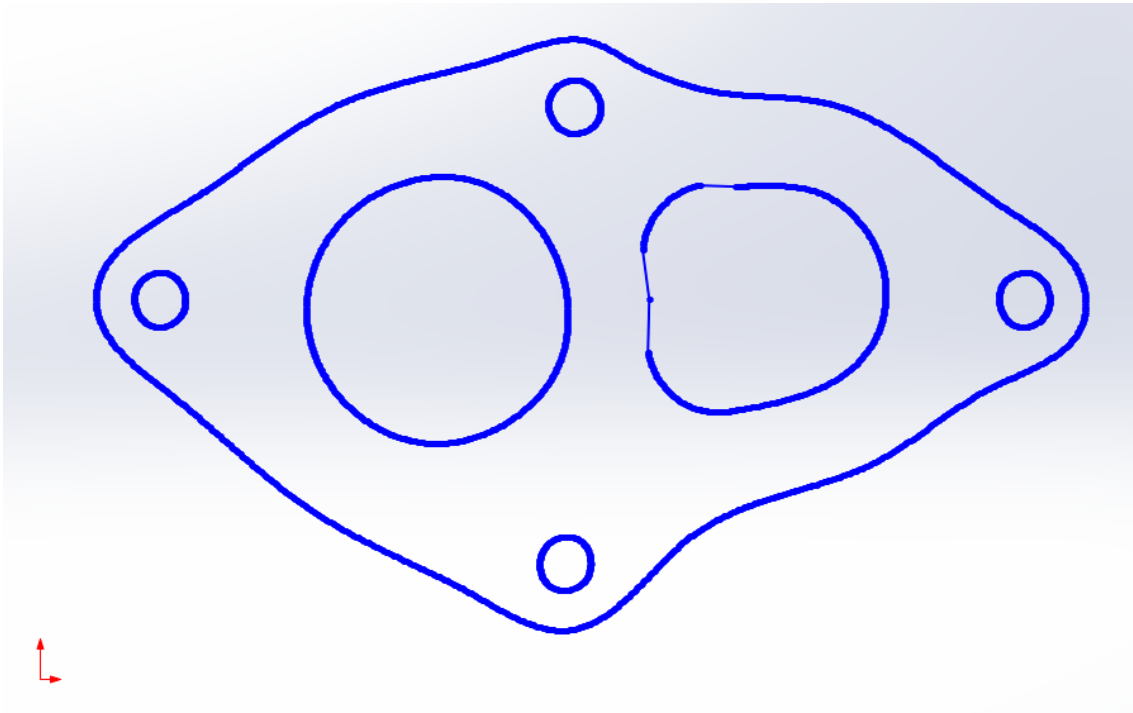
---

[Recommend](#) [Tweet](#) [+1](#) New: [Free Online OCR tool](#)

#### *KUVA 6. Autotracer.org-sivusto*

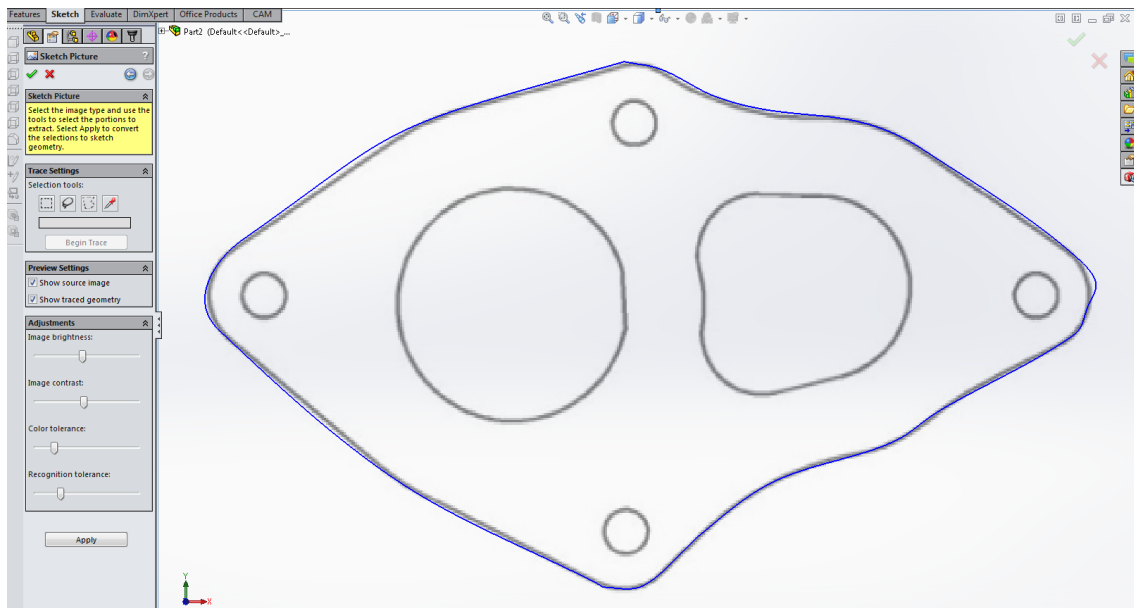
Formaatiksi valittiin DXF, tallennettiin kovalevylle ja avattiin SolidWorksissa. Kappaleen reunat muodostuivat lyhyistä viivanpätkistä, tarkoittaen että esimerkiksi ympyrää suurennettaessa huomataan reiän olevan kanttinen (kuva 7). Viivat ovat kuitenkin niin lyhyitä ettei se aiheuta merkittävää mittausepä tarkkuutta. Sen sijaan CAD/CAM-ohjelmistossa lyhyet viivat lisäävät

koodin määrää, joka voi aiheuttaa ongelmia jos työstökoneen sisäinen muisti on verrattain pieni.



*KUVA 7. Autotracerin muuntama vektorimuotoinen piirros*

SolidWorks-ohjelmiston sketch picture -lisätoiminnossa voidaan säätää kuvan kirkkautta, kontrastia, tunnistettavan värin toleranssia sekä reunaviivan tunnistustarkkuutta (kuva 8). Asetukset on säädetty visuaalisin avuin optimaalisiksi, mutta ohjelmiston piirtämän reunaviivan ja kuvan reunaviivan väliin jää paikoittain väli joka aiheuttaa huomattavaa epätarkkuutta.



KUVA 8. Sketch picture - toiminto

## 2.4 Skannaus konenäöllä

Konenäöksi kutsutaan visuaalista tarkastusovellusta, jossa kamera tarkastelee objektin väriä, muotoa tai muuta visuaalisesti havaittavaa suuretta. Tarkasteltavasta suureesta riippuen konenäössä käytetään eri tunnistusalgoritmeja. Useammalla kameralla tai optisella mittapäällä varustettu konenäkö pystyy havaitsemaan etäisyyksiä. Yhden kameran järjestelmä tunnistaa vain kaksiulotteisia muotoja.

## 2.5 3D-mittapää

Vakiintunut menetelmä kappaleiden mittaamiseen on ollut käyttää koordinaattimittauskonetta, jonka herkällä mekaanisella mittapäällä kosketetaan kappaleen pintaa halutuissa kohdissa, ja talletetaan sijainti muistiin. Mittapäätä liikutellaan joko käsin tai ohjelmallisesti. (2, s. 22.)

Mekaaninen mittapää kykenee mittaamaan muotoja kaikkiin kolmeen (x, y, z) suuntaan.

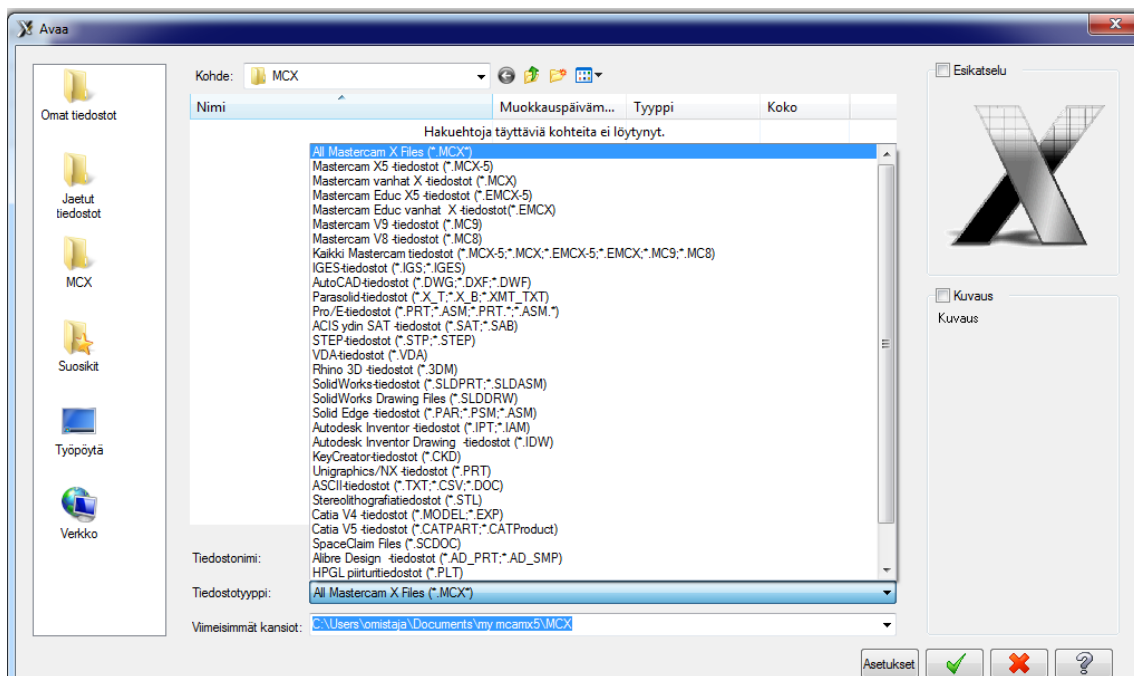
### 3 CAM-OHJELMOINTI

CAM-ohjelmistolla luodaan CAD-tiedoston pohjalta valmistuksessa tarvittavat työstöradat ja liikenopeudet.

Ohjelmaksi on valittu Mastercam koska sen käyttöön on saatavilla lukuisia lisäosia ja ohjelmiston käytöstä OAMK:lla on kokemusta ja sitä kautta vahva osaaminen.

#### 3.1 Geometrian tuonti

CAM-ohjelmoinnin ensimmäinen vaihe on tuoda CAD-ohjelmistolla luotu geometria ohjelmaan. Mastercam tukee useita eri tiedostomuotoja (kuva 9). Kaksiulotteisen geometrian yleisimmät muodot ovat dwg ja dxf. Kolmiulotteisista yleisimpiä ovat stp, step, sldpart (SolidWorks), 3dm (Rhino) ja catpart (Catia). Suluissa mainittu CAD-ohjelmistojen omat tiedostomuodot.

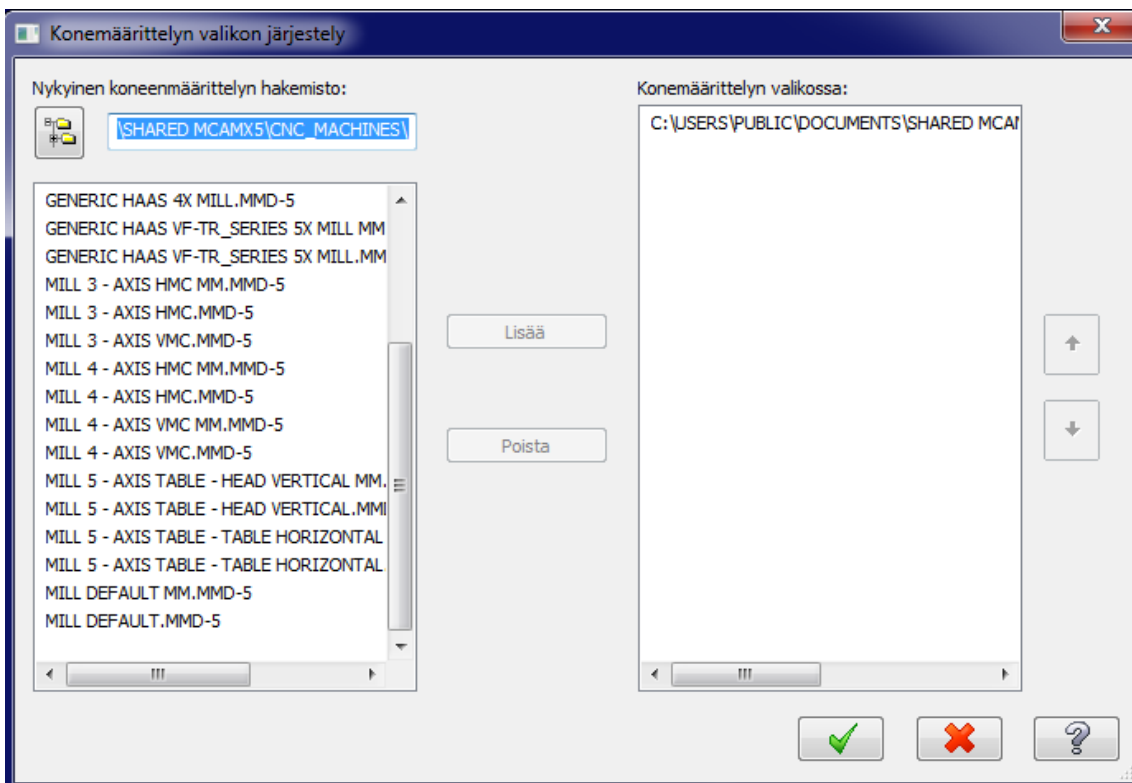


KUVA 9. Mastercam-ohjelmiston tuetut tiedostomuodot



Seuraavaksi avattiin kuvassa 7 esitetty, Autotracer ohjelmistolla muunnettu dwg-muotoinen geometria. Tuodulle geometrialle voidaan määrittää työstöratoja tai operaatioita, mutta ensin täytyy määrittää käytettävän työstöaihion mitat sekä käytettävän työstökoneen tyyppi.

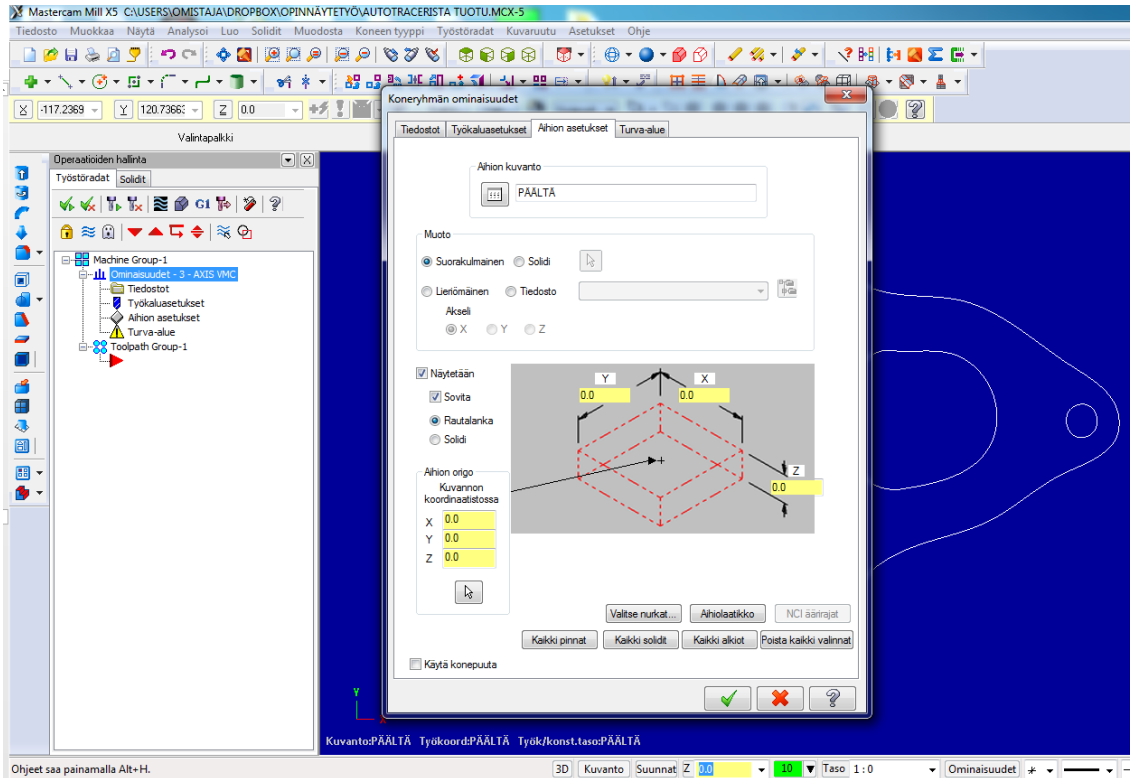
Käytössä on kolmiakselinen pystykarainen jyrsinkone. Kone tyyppin valinta tehdään seuraavaa polkua käyttäen (kuva 10): Koneen tyyppi → Mill (jyrsin) → Listan järjestely.



*KUVA 10. Käytettävän työstökoneen määrittely*

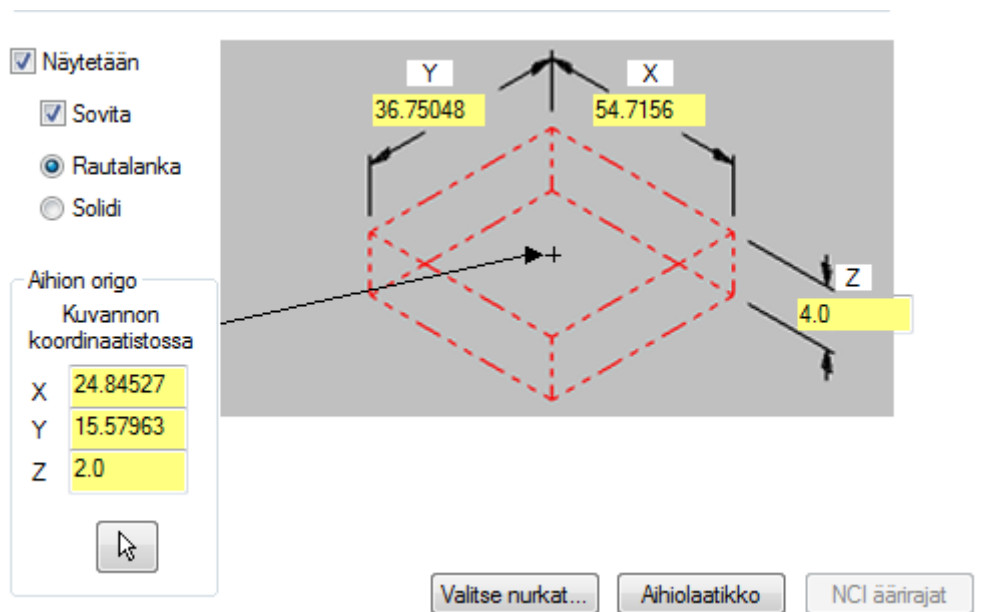
Listan määrittelystä valitaan Mill 3 – AXIS VMC MM.MMD-5. Lyhenne VMC tarkoittaa Vertical Millin Center:iä eli pystykarasta työstökonetta. Koska Mastercam-ohjelma on lähtöisin yhdysvalloista, käytetään siinä oletuksena brittiläistä mittajärjestelmää. Kone tyyppin määrittelyssä MM tarkoittaa että konetta ohjataan millimetreissä.

Kun koneen tyyppi on määritetty, avautuu vasemmalla sijaitsevaan palkkiin *Aihion asetukset* -painike. Sitä klikkaamalla päästään valikkoon jossa aihion koko määritellään (kuva 11).



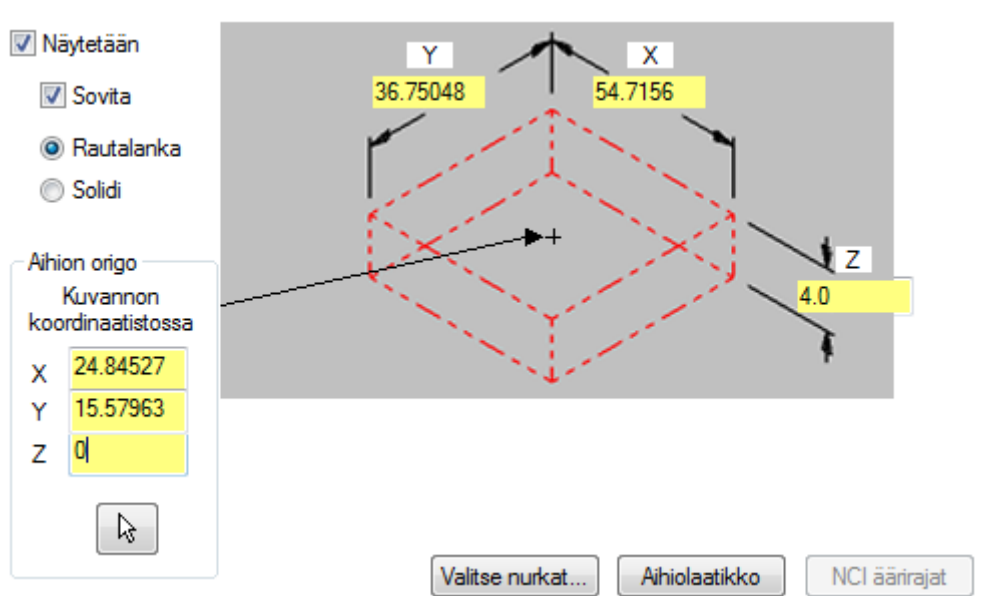
*KUVA 11. Aihion määrittäminen*

Yksittäistä tasomaista kappaletta levymateriaalista työstettäessä aihion koon määrittäminen tapahtuu nopeimmin valitsemalla "Aihiolaatikko" painikkeen, josta määritellään x, y ja z suuntaiset aihion mitat. Aihiolaatikon (kuva 12) voi laajentaa koko aihion kokoiseksi tai yhden kappaleen työstöön vaadittavan alan kokoiseksi. Tässä tapauksessa aihiolaatikkoa laajennettiin x ja y suuntaan 5 millimetriä sekä z suuntaan 2 millimetriä.



KUVA 12. Aihiolaatikon ja origon määrittäminen

Käytettävän levymateriaalin paksuus on neljä millimetriä. Aihion origo halutaan asettaa tasopinnan tasalle, jotta tulevien työstöparametrien syvyys-suunta on negatiivinen (kuva 13). Tämä helpottaa hahmottamaan kappaleen syvyyttä.



KUVA 13. Aihion origopiste muutettu

Aihion origo on muutettu, aihion määrittäminen on nyt valmis.

### **3.2 Operaatiot**

Mastercamissa on valittavissa joukko erilaisia operaatioita. Pystykaraiselle kolmiakseliselle koneelle sopivimpia ovat poraustyökierrot, profiilijyrsintä, tasku, pinnan rouhinta ja pinnan viimeistely. Käytettävästä työstökoneesta ja sen ohjauselektronikasta riippuu mitä näistä työkiertoista voidaan käyttää.

2,5-akselisessa koneistuksessa kolmatta liikeakselia voidaan ohjata, mutta ei portaattomasti muiden liikkeiden aikana. 2,5-akselisessa jyrsinnässä jyrsinterää voidaan ajaa ylös ja alas, tehdä eri kohdissa jyrsintää eri syvyydelle, mutta syvyyteen ei ohjelmoida portaattomia muutoksia muiden liikeakseleiden liikkeiden mukaan. (2, s. 32.)

3-akselisessa työstössä liikutellaan kolmea tavallisesti suoraviivaista liikeakselia kaikkien kolmen liikeaselin liikkeiden yhdistelyllä muodostuvaa ratakäyrää pitkin (2, s. 32).

Käytettävässä työstökoneessa on kolmeakselista työstöä tukeva ohjaus.

### **3.3 Työstöratojen luonti**

Tasomaisen kappaleen työstämisessä kätevin operaatio on profiilijyrsintä. Työstörataa määritettäessä valitaan kappaleen reunaviiva ja määritetään kummalla puolella reunaviivaa työkalu kulkee. Työkalun leveyden kompensointi voidaan tehdä joko työstöratoja tietokoneella laskettaessa tai jättää se NC-koneen ohjauksen tehtäväksi tähän tarkoitettujen NC-koodin käskyjen avulla. Jälkimmäisessä menettelytavassa riski ajatellun ja simuloitun ja todellisen toiminnan eroihin kasvaa.

### **3.4 Simulointi**

Työstöratojen ollessa valmiita, ohjelmisto antaa mahdollisuuden simuloida työstöä. Työstöratojen simuloinnissa ohjelmisto näyttää aihion, työkalun ja työkalupitimen mikäli sellainen on valittu työkaluparametreissa. Työkalu kulkee työstöratoja pitkin ja poistaa aihioista materiaalia. Simuloinnilla varmistetaan, että kappaleesta tulee sellainen kuin suunniteltiin ja esitetään kappaleen toteutunut pinnanmuoto. Simulaatiosta voidaan myös ottaa mittoja ja varmistua,

että työkalu on kulkenut oikealla puolella reunaviivaa, halutut syvennykset ovat oikean syvyisiä ja ettei työkalu tai sen pidin ole törmännyt aihioon tai kiinnittimiin.

Simulaatio antaa myös arvion työstöön kuluneesta ajasta. Arvio on suuntaa antava, koska simulaatiossa ei huomioida työstökoneen sisäisiä parametreja eli eri suuntaisten liikkeiden negatiivisiin ja positiivisiin kiihdytyksiin kulunutta aikaa. Pitkissä, suoraviivaisissa liikkeissä simulaation antama aika on lähellä totuutta, mutta jos työradoissa on tiheästi suunnanvaihtoja, voi arvio poiketa suuresti todellisesta työstöajasta. Arvio työstöajasta on kuitenkin hyödyllinen, koska se mahdollistaa vertailun eri operaatioiden ja työkalujen välillä.

### **3.5 Postprosessointi**

Postprosessoinnissa CAD/CAM ohjelmisto muuttaa työstöradat työstökoneen ymmärtäviksi liikekäskyiksi ja koordinaateiksi. Postprosessoreissa on suuria eroja riippuen työstökoneen tai sen ohjauselektronikan valmistajasta.

Postprossessori sisältää mahdollisia laitteen sisäisiä työkiertoja, joita ovat esimerkiksi poraustyökierrat. Jos päätetään porata 3 millimetriä syvästi millimetrin lastunkatkaisulla, voi käsky olla työstökoneesta riippuen joko suora g-koodia, jossa jokainen z akselin liike tehdään erillisenä käskynä tai työkiertokoodi jossa laitteelle kerrotaan porauksen alku- ja loppupisteet ja lastunkatkaisun syvyys.

Suoralla ohjelmointitavalla toteutetun porauksen g-koodit ovat

- G01 Z-1 F500
- G01 Z0 F500
- G01 Z-2 F500
- G01 Z0 F500
- G01 Z-3 F500
- G01 Z0 F500.

Työkierrolla toteutettavan porauksen g-koodi on

- G82 Z-3 R0 F500 L3.

G-koodin merkit tarkoittavat seuraavaa:

- G82 = työkierron tyyppi, suljettu poraustyökierto
- R0= taso, jolle kara nostetaan lastunkatkaisussa, joka on Z-suuntainen liike
- F500 = syöttöliikkeen nopeus, yleensä mm/min
- L3 = lastunkatkaisujen määrä.

Huomataan että koodin määrä riippuu siitä käyttäenkö/ohjelmoidaanko työkierrolla vai ilman. Käytettävästä ohjauksesta riippuen koodin määrä voi olla rajoitettu, jolloin työkiertojen käyttö tulee tarpeelliseksi, jos kappale halutaan työstää yhdellä ohjelmalla. Postprosessori ei keskustele CAD/CAM ohjelmoinnin simuloinnin kanssa, joten jos työkiertoja halutaan simuloida, täytyy Mastercam ohjelmistoon asentaa ohjaukselle sopiva koneenmäärittely.

### 3.6 NC-koodi

NC-ohjelman koodit ja sanat ovat kansainvälisesti standardoidut, ISO 840-1973, ISO 841-1974, ISO 1056-1976, ISO 1057-1973. Yleensä sama sana tarkoittaa samaa asiaa jokaisella NC-koneella. Suurin osa valmistelevista G-koodeista ovat kullekin konetyypille samat. Koordinaattikoodit ilmaisevat tietenkin aina koordinaattitietoa. Eniten eroa on eri koneiden välillä kytkevien M-koodien osalla. M-koodit ilmaisevat konekohtaisia kytkentäfunktioita, ja niissä on eroja jopa eri yritystenkin hankkimien samanlaisten koneiden välillä. ( 4 ).

NC-ohjelman yhtä riviä kutsutaan NC-lauseeksi. Usein sen lopussa on EOB, (end of block). Koneista riippuen tämä kaksi kirjoittumatonta koodia sisältävä lauseen loppu voi olla CR+LF tai toisin päin LF+CR. Kirjoituskonetermein CR merkitsee vaunun palautusta (carriage return) ja LF rivin siirtoa (line feed). Parhaiten nämä asiat ymmärtää matriisikirjoittimen käyttäytymisestä. ( 4 ).

G-koodit jaetaan kahteen tyyppiin. Tällöin puhutaan koodien modaalisuudesta. Valmistelevista G-koodeista on jokaisesta tiedettävä sen voimassaoloaika. Myös koneesta on tiedettävä, mitkä G-koodit sillä on voimassa koneen

käynnistyksen tai resetoinnin jälkeen. Resetoinnilla tarkoitetaan oletusasetusten palauttamista. ( 4 ).

G-koodi on ei-modaalinen, kun se on voimassa vain niissä lauseissa, joissa se on annettu ja modaalinen, kun se voimassa niin kauan kuin toinen samaan ryhmään kuuluva G-koodi annetaan ( 4 ).

## 4 CNC 6040 JYRSIMEN OHJAUKSEN RAKENTAMINEN

CNC-jyrsin on ollut käytössä MP Autotech Oy:n tiloissa helmikuusta 2014 lähtien. Laitteella on valmistettu alihankintana koneenrakennuksen osia metallista ja muovista. Jyrsin on koteloitu MDF levystä ja karkaistusta polykarbonaatista valmistettuun pultettiin (kuva 14).



*KUVA 14. Jyrsimen toimintaympäristö*

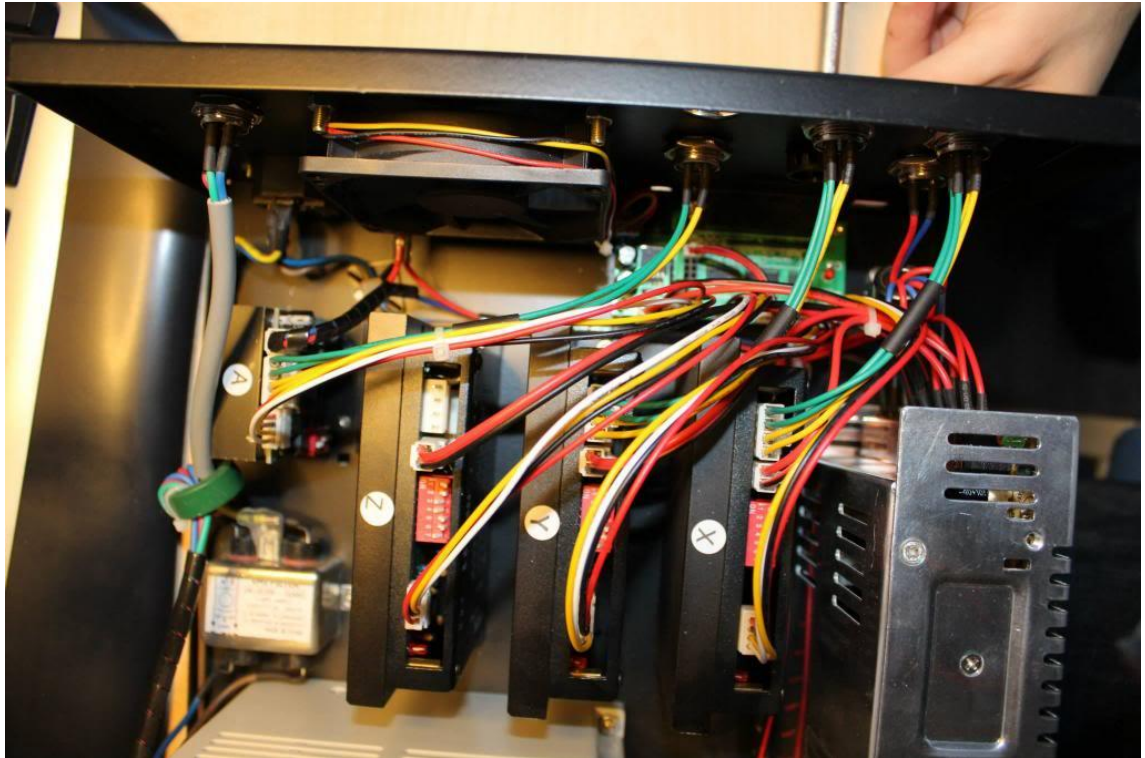
Tietokone ohjaa LPT portin välityksellä neljää YOC335 askelmoottoriohjainta. Ohjaustapa on nelilankainen kytkentä jossa jokaiselle moottorille kerrotaan pyörimissuunta ja askelten lukumäärä. Ohjauskäskyjen puskurointi tapahtuu tietokoneessa.

### 4.1 CNC-jyrsimen ohjauksen toiminnan selvitys

Laitteen ohjauselektronikka on koteloitu peltikuoriin. Kuoret irrottamalla päästään käsiksi elektroniikkaan. Kuorien sisältä löytyy seuraavat komponentit (kuva 15):



- kolme YOC335 askelmoottorihjaimia
- YOOCNC-T65M askelmoottorihjain
- YOOCNC-450JKB LPT-askelmoottorimuunnin
- Nowforever E100 taajuusmuuntaja
- Meanwell S-350-24 virtalähde
- sekalainen määrä johtoja.



*KUVA 15. Ohjauselektroniikka*

Harkinnan jälkeen käyttökelpoisiksi osiksi osoittautuivat virtalähde sekä taajuusmuuttaja. Muu elektroniikka johdotuksineen purettiin pois.

#### **4.2 Tietokone**

Ohjausprotokollan vuoksi aikaisemmin oli jouduttu käyttämään 2000 luvun taitteessa valmistettua yksityimistä pöytätietokonetta. Päädyttiin ostamaan titaani-magnesium runkoinen, 4-ydin prosessorilla varustettu Lenovo T410s mallinen kannettava tietokone.

Käytettävyyden parantamiseksi tietokone asennettiin koneistusnurkkaukseen telakan välityksellä. Telakka mahdollistaa tietokoneen irrottamisen nopeasti, koska tiedonsiirto telakkaan kytkettyihin laitteisiin kulkee laitteen pohjassa olevan liitännän kautta.

### **4.3 Ohjainkortin valinta**

Alunperin laitteessa oli neljä yksittäistä askelmoottoriohjainta joita ohjattiin erillisellä ohjainkortilla joka muunsi LPT protokollan signaalit askelmääriksi ja suunniksi. LPT-protokolla kykenee 2.0 MB tiedonsiirtonopeuteen, joka muodostuu pullonkaulaksi erityisesti työstettäessä pyöreää muotoa, jolloin koordinaatteja on tiheästi. Väylän rajoitus näkyy suoraan työstönopeuden hidastumisena ja työstöajan pidentymisenä.

LPT-väylän kautta ohjaamisen toisena haasteena oli ohjauskoodien lähettäminen suoraan emolevyiltä, joka kuormitti prosessoria aiheuttaen epävakautta. Epävakaus ilmeni tietokoneen kaatumisena ja hidastuneena työstönopeutena.

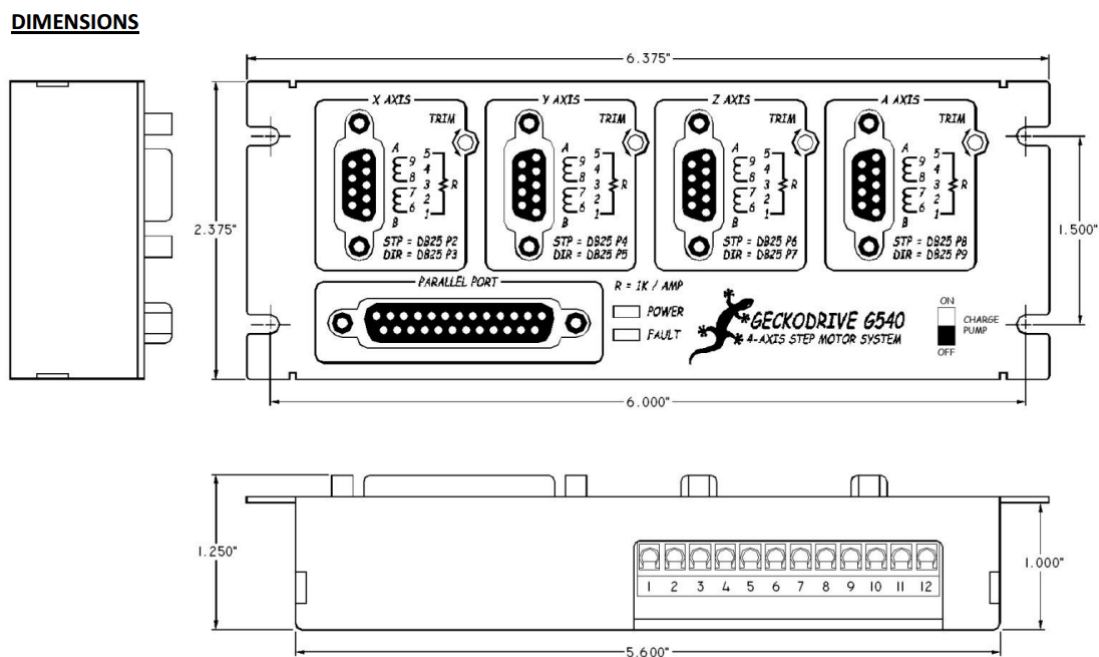
Ohjainkortin valinnassa painotettiin edullisuutta, varmatoimisuutta ja tehokkuutta. Vastaavista projekteista löytyi kokemuksia [www.cnczone.com](http://www.cnczone.com) sivustolta, jonka useassa viestiketjussa keuhuttiin Warp9 Tech Designin valmistamaa SmoothStepper-mallista ohjainkorttia. Hankintaa puolsi myös edullinen, noin 200 dollarin hinta, sekä mahdollisuus ohjata jopa kuutta akselia. Myös 4 MHz askelluksen ohjaustaajuus koettiin riittäväksi tähän työhön.

### **4.4 Askelmoottoriohjain ja johtosarjat**

Askelmoottoriohjain päädyttiin päivittämään, koska työstön aikana oli havaittu laitteen kadottavan askelia. Ongelma ilmeni mittaepätarkkuutena, työstetty kappale oli yhteen tai useampaan suuntaan epäsuhdassa. Alumiinia työstettäessä askelten kadottaminen aiheutti usein työstöterän katkeamisen äkillisesti kasvaneiden työstövoimien johdosta.

Päädyin selaamaan luvussa 4.3 mainittua sivustoa, josta löytyi positiivisia kokemuksia Gecko G540 askelmoottoriohjaimesta. Askelmoottoriohjaimen

tärkeimpiä ominaisuuksia ovat luotettavuus, tarkkuus ja säädettävissä oleva pitovirran määrä. Laitteen mitat on esitelty kuvassa 16:



KUVA 16. Gecko G540 askelmoottoriohjaimen mitat.

Valitun askelmoottoriohjaimen tärkeimmät suureet on esitelty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Gecko G540 -askelmoottoriohjaimen tärkeimmät suureet

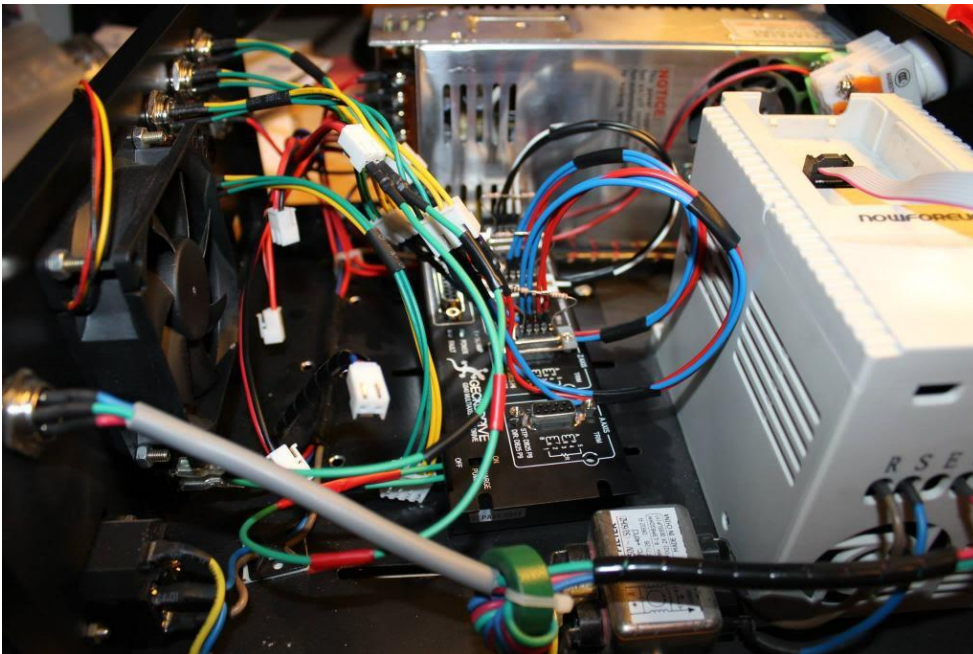
Suure	Raja-arvot	Yksikkö
Syöttöjännite	15 - 50	V
Askelmoottorin ottama virta	0 - 3,5	A
Ohjaustaajuus	0 - 250	kHz

Uudet johdinsarjat valmistettiin Gecko:lta saatujen ohjeiden mukaisesti. Käytössä olevien askelmoottorien suurin sallittu virta on 2.8 ampeeria. Mitoitusohjeiden mukaisesti 2800 ohmin vastus juotettiin pinnien 1 ja 5 väliin (kuva 17).



*KUVA 147. Johdinsarja, jossa virranrajoitus*

Askelmoottorien ollessa keskenään yhteneviä, johdinsarjoja valmistettiin kolme samanlaista. Gecko G540 asennettiin johdinsarjojen kanssa alkuperäiseen koteloon (kuva 18).



*KUVA 158. Johdinsarjat ja askelmoottorihjain koteloituna*

## 5 KONENÄÖN RAKENTAMINEN

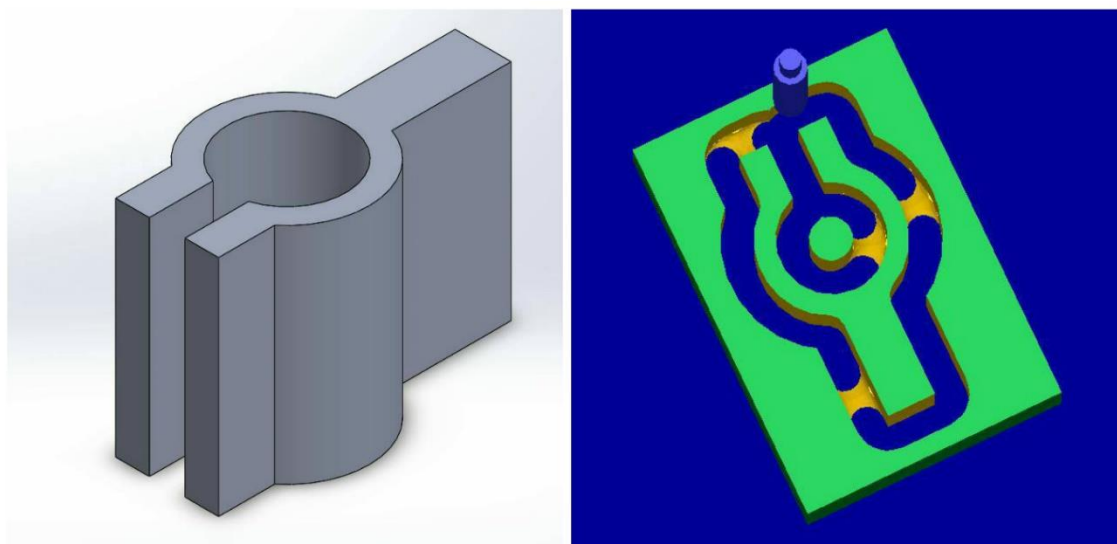
Konenäön rakentamisen vaiheet ovat mikroskoopin asentaminen jyrsimen runkoon sekä tarvittavien ohjelmistojen asennukset ja konfiguraatiot.

### 5.1 Mikroskoopin ja ohjelmistojen valinta

Newfangled Solutions Llc:n konsultoinnin perusteella päätettiin investoida Sheetcamin Scanything ohjelmisto, jonka toivottiin kommunikoivan Mach3 ohjauksen kanssa. Sheetcam suosittelee käytettäväksi Supereyes nimisen valmistajan digitaalimikroskooppia. Vaatimuksena mikroskoopille on 640 x 480 pikselin resoluutio sekä tasainen kolmenkymmenen kuvan päivitystaajuus. Päätettiin valita Supereyes B005 -digitaalimikroskooppi, koska se oli edullisin vaatimukset täyttävä laite.

### 5.2 Kiinnikkeiden suunnittelu ja mikroskoopin asentaminen

Jotta mikroskooppi saatiin sijoitettua jyrsimen runkoon, täytyi sille suunnitella ja valmistaa kiinnikkeet. Ne piirrettiin Solidworks:illa (kuva 19), CAM-ohjelmointi ja työstöratasuunnittelu tehtiin kappaleen 4 mukaisesti Mastercam-ohjelmistolla.



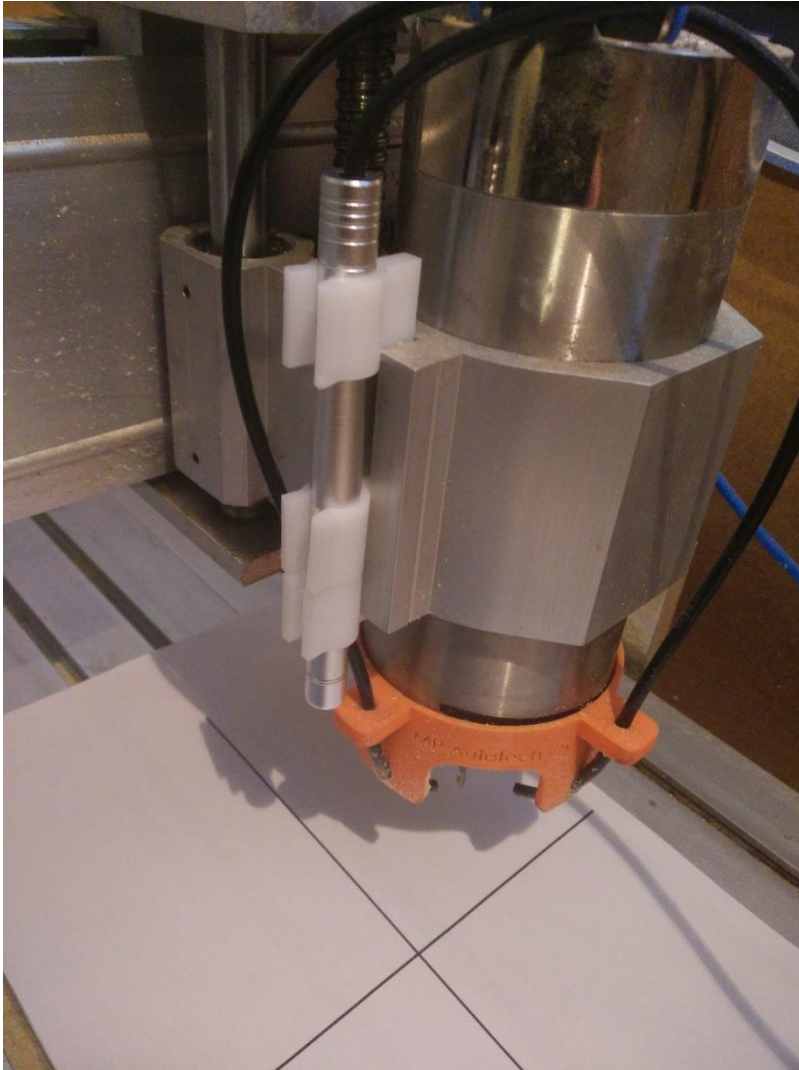
KUVA 169. Kiinnikkeen 3d malli ja työstöratasimulaatio

Työstössä käytettiin 1/8” eli 3,175 millimetrin vahvuista kaksileikkuisia jyrshintappia. Aihiomateriaali on polyasetaalia. Työstetyt kappaleet ovat kuvassa 20.



*KUVA 20. Kiinnikkeet jyrshintappi aihioista*

Kiinnikkeet irroitettiin aihioista ja kiinnitettiin jyrshintappien karan runkoon ahdustussoviteella. Asennuksen suoruus todettiin laservaakaimella. Mikroskooppi mahtui juuri sopivasti karan kaulalla sijaitsevan 3D-tulostetun kauluksen viereen. Kyseisen kauluksen tehtävänä on ohjata kaksi 4 millimetrin halkaisijalla olevaa pneumatiikkaletkua terän kärkeä kohti. Letkuista johdetaan paineilmaa jonka tehtävänä on jäähdyttää terää ja poistaa lastut työstettävästä kohteesta. Kuvassa 21 näkyvää A4 kokoiselle paperille tulostettua ristiä käytettiin todentamaan kameran ja jyrshintappien koordinaatistojen yhtenevyys. Koordinaatistojen täytyy olla yhtenevät, jotta kameran käsky ja jyrshintappien tavoiteltu kulkusuunta toteutuvat.



*KUVA 21. Mikroskooppi asennettuna jyrsimen karan runkoon*

### **5.3 Ohjelmistojen yhteensopivuus ja kalibrointi**

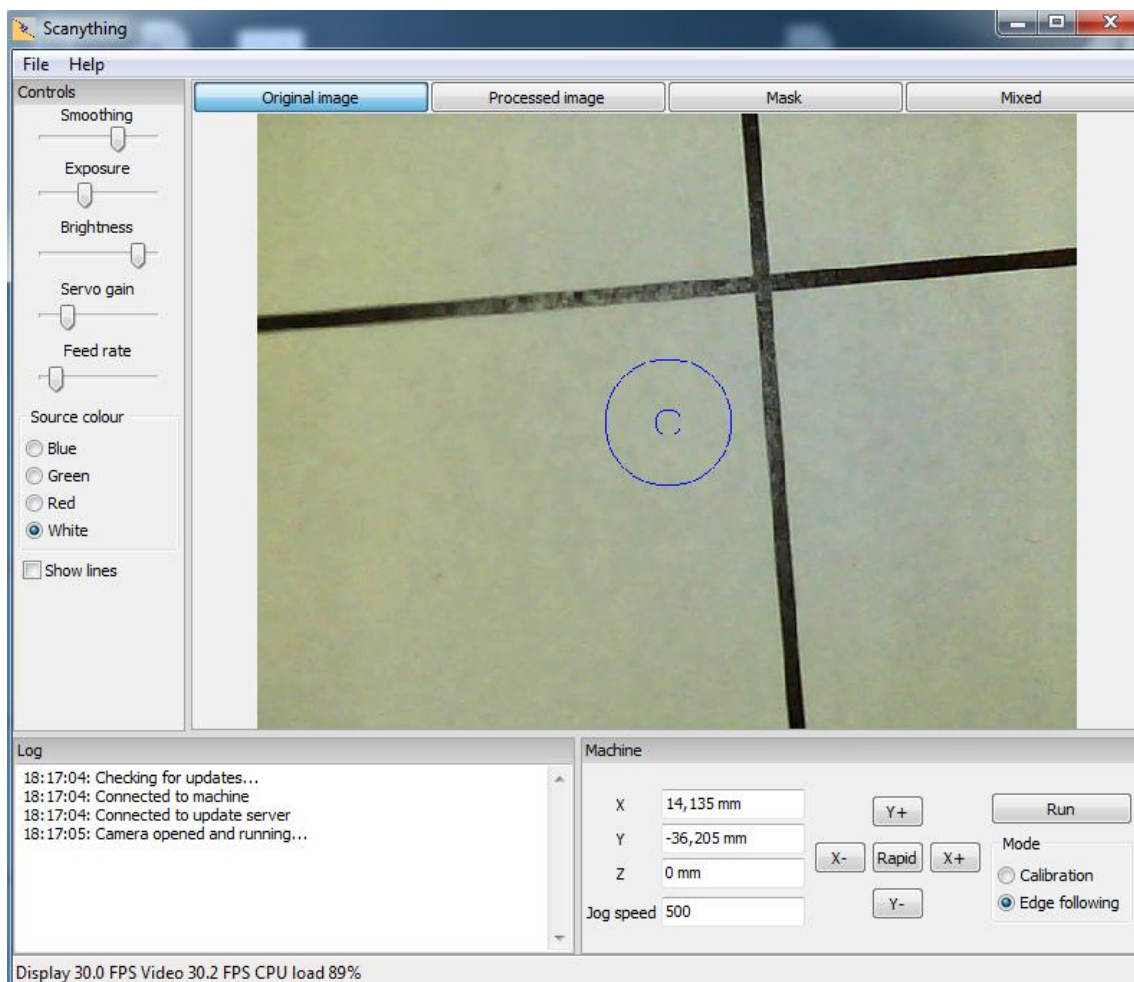
Mikroskoopin valinnassa otettiin huomioon sen soveltuvuus ja yhteensopivuus Mach3 ohjauksen kanssa. Skannausohjelmiston valmistajalta (Sheetcam) oli saatavilla liitännäinen, jolla Scanything -ohjelmisto liitetään Mach3 – ohjelmistoon.

Ennen ohjelmiston varsinaista käyttöönottoa täytyy suorittaa laitteen kalibrointi. Se suoritetaan tulostamalla paperille kahden millimetrin halkaisijalla oleva musta piste. Kalibroinnissa laite lähestyy pistettä eri suunnista, liikkeiden nopeuksia sekä kiihtyvyyksiä on mahdollista muuttaa.

Scanything ohjelmistossa reunaviivan tunnistamiseen liittyviä suureita voidaan säätää. Näitä ovat pehmennys, valotus, kirkkaus ja viivan oletettu väri.

Edellämainitut säädöt vaikuttavat prosessoituun kuvaan, eli siihen kuvaan jonka perusteella reunaviiva tunnistetaan. Säätöjen helpottamiseksi käyttöliittymän yläalaidassa on valittavissa prosessoitu sekä verhottu näkymä. Prosessoidussa näkymässä on huomioitu säätöjen vaikutus. Verhotussa näkymässä päästään tarkastelemaan lopullista, kulkusuuntaan käytettävää näkymää.

Kuvan 22 alalaidasta käy ilmi kuvan päivitystaajuus sekä prosessorin käyttöaste. Kuvan prosessointi 30 päivitystaajuudella on verrattain raskasta, tässä tapauksessa prosessorin kuormitusaste on 89%.



*KUVA 22. Scanything ohjelmiston käyttöliittymä*



Säätöjä hakemalla ohjelma saatiin seuraamaan yksinkertaista, mustalle paperille tulostettua geometriaa ja tulostamaan dwg muotoisia CAD-kuvia. Kuvat muodostuivat kuitenkin perättäisistä pisteistä, joten ne eivät suoraan sovellu CAM ohjelmointiin.

## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitena oli perehtyä NC-tekniikan tarjoamiin teknisiin ratkaisuihin ja rakentaa NC-työstökoneen ohjaus. NC-työstökoneen ohjaus saatiin suunniteltua ja toteutettua. Tasomaisten kappaleiden mallinnustavaksi valittiin konenäkö, jonka prototyyppi saatiin toimimaan yksinkertaisten, heijastamattomien kappaleiden kanssa.

Digitaalimikroskoopin käyttö konenäössä aiheutti muutamia ongelmia. Kiiltävää tai verrattain ohutta kappaletta skannatessa digitaalimikroskoopin taustavalo heijastui takaisin tai läpäisi kappaleen aiheuttaen huomattavaa mittausepä tarkkuutta. Taustavalon käyttö on pakollista, jotta kontrastiero riittää tarjoamaan tarpeeksi selkeän kuvan Scanything ohjelmiston reunantunnistukselle. Osittainen ratkaisu ongelmaan saatiin maalaamalla kappaleet mustaksi pilailupuodista ostettavalla vesiliukoisella hiusvärillä.

Optisen mittauksen käyttö NC-tekniikassa aiheuttaa yllä kuvattuja ongelmia, joita ei työn alussa osattu huomioida. Jos edellämainitut ongelmat olisi tiedetty aiemmin, olisi rakennettavaksi mittausmenetelmäksi valittu koskettava mittapää.

Työ tarjosi sopivasti haastetta. Toivon, että työstä on hyötyä tulevissa opinnäytetöissä. Toivon myös, että koneosastolla tehdään vastaava kartoitus 3D-mittapään rakentamisesta.

## LÄHTEET

1. Laakko, Timo – Sukuvaara, Antti – Borgman, Jukka – Simolin, Teemu – Björkstrand, Roy – Konkola, Marcus – Tuomi, Jukka – Kaikonen, Hannu 1998. 3D-CAD tuotteen suunnittelu. Porvoo: WSOY.
2. Korhonen, Eero 1995. Muotoilusta tuotantoon. Projektiraportti. Ylivieska: Ylivieskan teknillinen oppilaitos.
3. Teknisen alan palvelut Vektorointi. Multiprint Oy. Saatavissa: <http://www.multiprint.fi/palvelut/teknisenalanpalvelut/vektorointi>. Hakupäivä 12.2.2015.
4. NC ohjelman rakenne ja NC koodit, Ohjelman yleiset koodit ja sanat. Saatavissa: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/nctekniikka/NCkoodit.html>. Hakupäivä 14.12.2015

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä <sup>1</sup> Matti Porkola	Tilaaaja <sup>2</sup> MP Autotech Oy			
	Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot <sup>3</sup> Matti Porkola				
	Työn nimi <sup>4</sup> <b>Tuotantoketju mallista NC-valmistukseen</b>				
	Työn kuvaus <sup>5</sup> Oppilas tutustuu NC-tekniikkaan				
	Työn tavoitteet <sup>6</sup> Tavoitteena on rakentaa NC-työstökoneen ohjaus				
	Tavoiteaikataulu <sup>7</sup> Valmis syksyllä 2015				
Päiväys ja allekirjoitukset <sup>8</sup>					
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">/ /</td> <td style="text-align: center;">/ /</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Tekijän allekirjoitus</td> <td style="text-align: center;">Tilaaajan allekirjoitus</td> </tr> </table>		/ /	/ /	Tekijän allekirjoitus	Tilaaajan allekirjoitus
/ /	/ /				
Tekijän allekirjoitus	Tilaaajan allekirjoitus				
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.</li> <li>2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.</li> <li>3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.</li> <li>4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.</li> <li>5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.</li> <li>6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.</li> <li>7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.</li> <li>8. Lähtötietomuuisto päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö.</li> </ol>					