

Nikolai Petrov

Pystykarsintalaitteen terien teroitus

NC-koneella



Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Kevät 2019



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä: Nikolai Petrov

Työn nimi: Pystykarsintalaitteen terien teroitus NC-koneella

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

Asiasanat: NC-tekniikka, MasterCam, Solidworks, jysintä, hiominen, terien teroitus, Raex-teräs.

Tämän työn toimeksiantaja on Apuri Tuote Oy. Yrityksen tuote on sen keksimä ja patentoitu pystykarsintalaite Falco. Pystykarsintalaite on metsänhoitolaite, joka on tarkoitettu puiden runkojen karsintaan. Pystykarsinta tarkoittaa oksien poistamista, ja oksattomat tyvitukit on arvokas raaka-aine teollisuudessa.

Opinnäytetyö käsittelee pystykarsintalaitteen terien teroituksen kehitystä. Ennen hiomanauhalla teroitettut terät on tarkoitus siirtää teroitettavaksi NC-koneelle, isoihin myyntierien varautumiseksi. Tarkoituksena on säästää aikaa ja lisätä joustavuutta tuotantoon.

Ensimmäiseksi on mallinnettava teroituksen muoto, sen jälkeen on tehtävä koneistusohjelma ja sitten koneistettava NC-koneella. Työn suoritus alkaa kappaleen kiinnityksestä. Lopuksi on testattava terien toimivuutta käytännössä karsimalla oksia metsässä.

Työssä käytettiin SolidWorks- ja Mastercam-ohjelmia sekä Haas TN-1P NC-konetta.

Vaikka koneistusohjelman luomisessa on ollut omia haasteita, suoritettut kokeilut ovat edistäneet tuotekehitystä ja terien teroitus on onnistunut NC-koneella.

Abstract

Author: Nikolai Petrov

Title of the Publication: Sharpening of Tree Pruner Blades with NC technology

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: numerical control, MasterCam, Solidworks, milling, grinding, blade sharpening, Raex steel

The commissioner of this work is a small local company Apuri Tuote Oy. The most important product of the company is the Falco tree pruner, which was invented and patented by the company. The pruner is a forest management device designed to cut tree branches. Tree pruning means removing branches. The process helps to improve the quality of wood, as well as increases the value of the wood materials produced from it.

This work deals with the development of the sharpening of tree pruner blades. The blades were sharpened using a grinding belt earlier, but in the future, the NC machine will replace it to guarantee large sales items. The purpose is to save time and increase the flexibility of production.

First, the shape of the sharpening is to be modelled, followed by creating a machining program and then machined by the NC machine. The practical work begins with attaching the workpiece into the NC machine, which is a demanding task as well. Finally, you have to test the functionality of the freshly made blades in practice by cutting branches in the forest.

SolidWorks and Mastercam programs, together with the Haas TN-1P NC machine were used for the test. Although there have been some challenges in creating the machining program, the experiments have been put into practice. The process has contributed to the development of the product and the sharpening of blades with the NC machine has been successful.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Työn lähtökohdat ja toimeksiantaja	2
3	Pystykarsinta.....	3
4	Pystykarsintalaite.....	4
4.1	Falco-pystykarsintalaite.....	4
4.2	Terät	5
4.3	Nauhalla hiominen	5
5	NC-tekniikka.....	7
5.1	NC-tekniikan historia	7
5.2	NC-tekniikan perusteet	8
5.3	Koneistokeskukset.....	8
5.4	HAAS TM-1P-työstökeskus	9
6	Koneistaminen.....	10
6.1	Lastuava työstö.....	10
6.2	Raex 400	10
7	CAD-CAM	12
7.1	SolidWorks.....	12
7.2	Mastercam	13
8	Työn suoritus	15
8.1	Kappaleen kiinnitys	15
8.1.1	Jigin mallintaminen	19
8.1.2	Jigin ohjelmointi	20
8.1.3	Jigin koneistaminen.....	22
8.2	Mallintaminen	26
8.3	Ohjelmointi.....	28
8.4	Koneistus	29

9	Laadun tarkastus.....	37
10	Pohdinta	38
	Lähteet	39
	Liitteet	

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee pystykarsintalaitteen terien teroituksen kehitystä. Pystykarsintalaite on Apuri Tuote Oy:n keksimä ja patentoitu metsänhoitolaite, jonka avulla voi karsia oksia puusta. Pystykarsintalaitteiden tuhannen kappaleen tarjouspyyntöihin varautumiseksi on tarkoituksena kehittää nopeampi tapa valmistaa tuote. Laitteessa on 21 osaa, joihin kuuluvat terien lisäksi mm. runko, ketju ja jousi. Tässä työssä keskitytään terien valmistukseen eli teroitukseen. Tarkoituksena on siirtää hiomanauhalla teroitettut terät teroitettavaksi NC-koneelle. Tekemällä terien teroitusta NC-koneella yritetään saada pitempi miehittämätön työjakso sekä optimoida yrityksen resurssien käyttöä.

Ensimmäisenä on mallinnettava teroituksen muoto SolidWorks-ohjelmassa. Toisena on tehtävä koneistusohjelma ja kolmantena on koneistettava NC-koneella. Työn suoritus alkaa kappaleen kiinnityksestä ja loppuu laadun tarkisteluun. Terien teroituksen kokeilussa ja projektin suunnittelussa käytetään Haas TM-1P NC-konetta sekä SolidWorks- ja MasterCam-ohjelmistoja.

Opinnäytetyössä terien muotona tarkoitetaan laserilla poltettua muotoa ilman teroitusta. Teroituksen muodolla tarkoitetaan NC-koneella jysittyä muotoa.

2 Työn lähtökohdat ja toimeksiantaja

Apuri Tuote Oy on pieni paikallinen yritys, joka on perustettu Kajaanissa kesällä 2006. Yritys on tämän opinnäytetyön toimeksiantaja. Apuri Tuote Oy on valmistanut ja myynyt erilaisia apuvälineitä, esimerkiksi moottorisahan lisävarusteet, perämoottoritelineet, moottorikelkan peränostimet, lehtipuhaltimien apukahvat, pystykarsintalaitteet.

Apuri Tuote Oy:n pystykarsintalaitteen historia sai alkuunsa useita vuosia sitten Kainuun Keksijöiden Innoklubista, jossa kaksi keksijää Eero Pikkarainen ja Ahti Rissanen tapasivat. Noin kahdenkymmenen prototyypin ja pitkän kehityksen jälkeen syntyi ainutlaatuinen kevyt ja kestävä Falco-pystykarsintalaite, joka on lähinnä tarkoitettu mäntymetsässä tukkipuiksi kasvatettavien runkojen karsintaan.

Yritys on ostanut alihankintana osien leikkausta, hitsaamista ja koneistusta muilta yrityksiltä Kainuussa, Pohjois-Savossa ja Lapissa. Maalausta, teroittamista ja kokoonpanoa on hoidettu itsenäisesti Kajaanin pajassa. Tuotannon tehostamiseksi yritys on hankkinut oman numeerisesti ohjatun koneistuskeskuksen eli NC-koneen. Opinnäytetyön tarkoituksena on siirtää hiomanauhalla teroitettut terät teroitettavaksi NC-koneelle. Tällainen muutos tuotannossa lisää joustavuutta ja lyhentää tuotteen toimitusaikaa ja käytännössä tehostaa koko yrityksen toimintaa.

3 Pystykarsinta

Varhaisessa vaiheessa puuta karsitaan, jotta saadaan hakkuuvaiheessa oksatonta tyvitukkia. Oksien poistamisella lisätään laadukasta ja oksatonta raaka-ainetta, joka on kysyttyä ja arvostettua. Oksia karsitaan, kun puu on noin 10 metriä pitkä ja alle 15 cm paksu. Puusta karsitaan noin kolmasosa oksista. Leikatun oksan tyvi kasvaa umpeen.

Pystykarsinta tarkoittaa oksien poistamista, ja sen tarkoitus on vähentää oksan jättämät tummat jäljet laudassa. Rungon tyveltä poistetaan eläviä ja kuolleita oksia karsimalla ne 4–6 metrin korkeudelle. Oksaton tyvitukki on arvokas ja haluttu raaka-aine teollisuudessa. Sitä käytetään oksatoman viilun sekä huippulaatuisen pinta- ja sivulaudan valmistuksessa.

Pystykarsinnalla ei pysty pelastamaan huonolaatuista metsikköä, mutta hyvästä rungosta karsimalla voi saada vielä paremman. Pystykarsinta lisää oksattoman tyvitukin määrää metsässä ja samalla puun arvoa. Toisaalta pystykarsinnan korkeat kustannukset rajoittavat sen laajamittaista soveltamista. Pystykarsintaan käytetään pystykarsintalaitteita. [1.]

4 Pystykarsintalaite

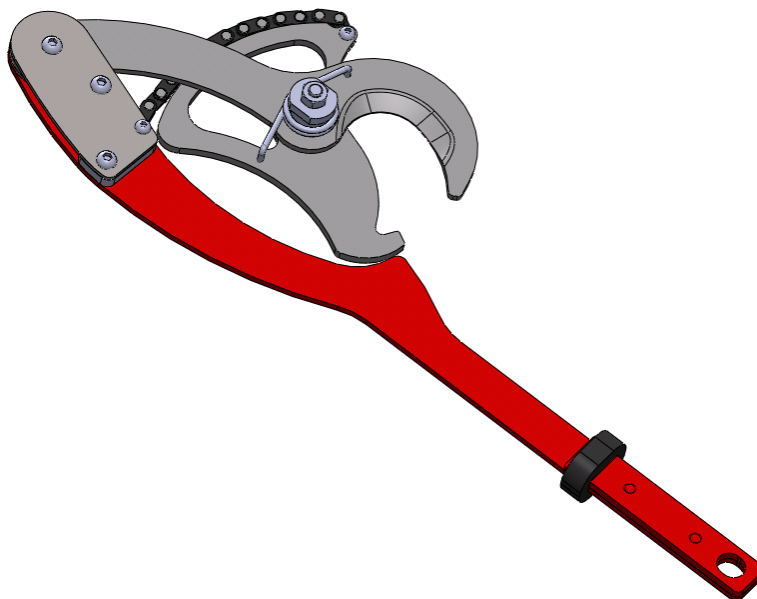
Maailmanmarkkinoilla on olemassa erilaisia pystykarsintalaitteita. Hintataso vaihtelee. Halvimillaan hinta on noin 25 euroa. Korkeimmillaan hinta on noin 500 euroa.

4.1 Falco-pystykarsintalaite

Apuri Tuote Oy:n pystykarsintalaite eli Falco (kuva 1) erottuu muista, koska se tekee viiltävän, kiertävän vuolumaisen leikkaavan liikkeen oksan ympäri. Keksintö oli aikoinaan patentoitu Suomessa ja suojattu kilpailijoilta. (Patentti Fi117687.) Jos vertaillaan Falcoa ja muita pystykarsintalaitteita, ensimmäisenä korostuu se, että Falco sallii työn suoritukset yhdellä kädellä. Jonkin verran tulee vastaan laitteita, jotka toimivat akuilla tai polttomoottorilla. Monet markkinoilla olevat laitteet on tarkoitettu lähinnä puutarhakäyttöön. Falco on ergonominen, kevyt ja kestävä.

Apuri Tuote Oy:n patentoimalla pystykarsintalaitteella riittää 11 cm pitkä nykäisy alas, jolloin tapahtuu kiertävä viiltävä liike oksan ympäri ja leikkuukita sulkeutuu. Viimeinen oksan kannatteleva puuaine jää oksan keskelle, joten repeämistä ei tapahdu. Pystykarsintalaitteessa kaikki osat on viety laitteen toiselle puolelle ja toinen puoli on jätetty sileäksi. Laite ei vaurioita puun kuorta. Vaurioituneen kuoren kohdalle syntyy pihkatasku, joka on haitallisempi kuin karsimaton oksa. Falco-tuotteita on olemassa kahta eri mallia: Falco 30 ja Falco 50. Falco 30 -laitteella voi karsia jopa 30 mm paksuja oksia ja Falco 50 -laitteella jopa 50 mm paksuja oksia. Falco 50 soveltuu enemmän sähkölinjojen ja junaratojen raivaamiseen ja puistojen hoitamiseen.

Falco-pystykarsintalaitetta suositellaan käytettäväksi metsänomistajille omatoimiseen pystykarsintaan, hirvimiehelle teiden varsien turvakarsintaan, metsänhoitoyhdistyksille, puutarhureille ja sähkölinjojen hoitajille. Tuote on suunniteltu ja tarkoitettu nimenomaan ammattilaisille, ihmisille, jotka hoitavat metsiä jatkuvasti. [2.]



Kuva 1. Pystykarsintalaite

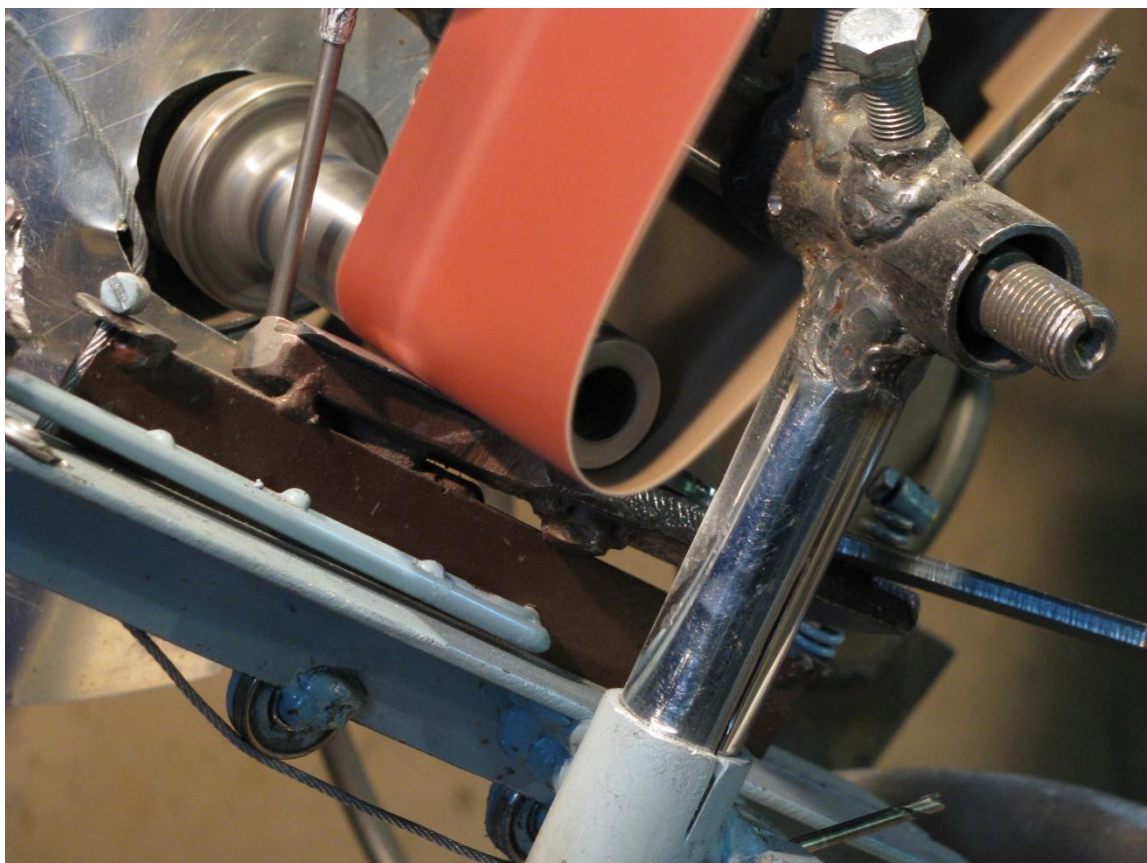
4.2 Terät

Pystykarsintalaitteessa on kaksi terää: koukkuterä ja vastaterä. Terät ovat neljä millimetriä pak-susta Raex 400-teräksestä laserilla leikattuja osia. Pystykarsintalaite on suunniteltu niin, että terät kiertävät oksan ympäri leikaten puun kuorta ja samalla leikkaavat oksan irti. Saksimaiset terät pyrkivät suuressa rasituksessa ristiin.[2.] Ristiin menemisen estämiseksi terät on valmistettava kovasta ja lujasta metallista eli Raex 400:sta.

4.3 Nauhalla hiominen

Hiominen on lastuava työstömenetelmä, jossa työstettävän kappaleen pinnasta poistetaan ai-netta. Hiontatyökalu koostuu lukuisista pienestä rakeista, jotka on sidottu yhteen sideaineella. Työkalun kosketuksesta työstettävään pintaan siitä irtautuu pieniä lastuja. Hionta soveltuu hyvin kovien aineiden työstämiseksi ja teroituksiin. [3.]

Käytössä oli nauhahiomakone jossa nauha pyöri kahden rullan välissä. Lisäksi hiomakoneeseen oli rakennettu kiinitysjiigi, esitetty kuvassa 2, jonka avulla pystyttiin hiomaan oikeanlainen muoto.



Kuva 2. Nauhalla hiominen

5 NC-tekniikka

5.1 NC-tekniikan historia

NC-tekniikka sai alkunsa 1950-luvulla. Sitä oli kehitetty lentokoneiteollisuuden tarpeisiin. Yleistyminen alkoi 1970-luvulla mikroprosessorin ohjauksen myötä.

Työstökone, joka on ohjattu komentokielellä tai ohjelmalla, on siis numeerisesti ohjattu. NC-koneita ohjataan yleisesti G-koodilla. Monet komennot kielissä alkavat G-kirjaimella, ja sen takia se on saanut sen nimen.

G-koodi on matalan tason komentokieli. Monimutkaisen liikeradan ohjelmointi suoraan G-koodilla on työlästä, ja jos työkalun mallia muutetaan, pitää kirjoittaa G-koodi uudelleen. Kuitenkin pienet työkalun pituusmuutokset voidaan hoitaa mitta- ja teräkorjaimilla. G-koodin kirjoittamisen voi antaa CAM-ohjelman tehtäväksi valmistettavan kappaleen CAD-mallin ja käytettävissä olevan työkalun mittojen perusteella.

Alussa konekielen ohjelmointi tapahtui käsin, ohjelman tallennus tehtiin reikänauhalle tai reikäkortille. Työstökoneen ohjaus on toiminut lukemalla informaatiota reikänauhalla ilman tietokoneita ja ohjelmamuistia. Joskus käytetään myös NC-ohjaus -termiä, kun puhutaan tällaisesta vanhanaikaisesta työtavasta. CNC on lyhenne englanninkielisistä sanoista computerized numerical control eli tietokoneistettu numeerinen ohjaus. Siinä on korostettu, että ohjaukseen kuului tietokone ja ohjelmamuisti.

CNC-termi on vanhentunut, ja nykyisin käytetään termiä NC, koska käytännössä kaikki nykyaikaiset työstökoneet ovat numeerisesti ohjattuja. Niitä on olemassa erilaisia tyyppejä, esim. sorvit, jyrsinkoneet, hiomakoneet, hammastuskoneet sekä koneistuskeskukset. [4.]

5.2 NC-tekniikan perusteet

Manuaalityöstökoneen ja NC-työstökoneen erona on se, että manuaalikonetta ohjaa ihminen ja NC-konetta ohjaa tietokone [5]. NC-työstökone suorittaa kappaleen koneistamisen automaattisesti.

NC-koneen käyttäjä säästää vaivannäköä, aikaa ja kustannuksia. Työ helpottuu. Osa manuaalikoneen käyttäjän tehtävistä jää pois, esimerkiksi laskutoimituksen tekeminen, mitta-asteikkojen seuraaminen ja erilaisten kampien kiertäminen. Suursarjavalmistuksessa kappaleet pysyvät samanaikaisena. Kappaleissa laatu pysyy tasaisena. Epäonnistuneiden kappaleiden määrä vähenee. [4.]

Tätä työtä tehdessä NC-ohjelmia tehtiin CAD/CAM eli SolidWorks- ja Mastercam-ohjelmien avulla.

5.3 Koneistokeskukset

Numeerisesti ohjattujen työstökoneiden ominaisuuksia ja automatisointia hyödynnetään teollisuudessa ja lastuavassa työstössä. Koneistokeskuksissa on työkaluja ja niiden vaihto tapahtuu automaattisesti. Kaikki toiminnot tapahtuvat automaattisesti laaditun ohjelman mukaan. Ohjausyksikköön syötetään tarvittavat tiedot eli kirjain- ja numerokoodien sarjat eli ohjelmat. Ohjelma antaa käskyt, ja työstökeskus valmistaa tuotteet annettujen parametrien mukaan. Mikäli kappale on monimutkainen ja sen valmistuksessa käytetään toistuvia sarjoja, koneistokeskuksen hankinta on usein kannattava. [5.]

Ennen koneistokeskuksia on ollut NC-porakoneita ja jyrsinkoneita sekä työkalut vaihdettiin pääasiassa käsin. Koneistokeskukset ovat universaalinen monipuolinen työkalu. Sillä voi porata ja jyrsiä, upottaa ja avartaa jne. [4.]

Koneistokeskukset ovat usein 3- tai 5-akselisia. Akseleita kuitenkin voi olla enemmänkin [4].

5.4 HAAS TM-1P-työstökeskus

Käytössä oli Haas TM-1P pystykarainen työstökeskus (kuva 3). Työstökeskus on 3-akselinen mutta sitä on saatavilla myös 4- ja 5-akselisena.

Työpöydän mitta on 1213 x 268 mm ja työpöydän maksimikuormitus on 405 kg.

Akseleiden liikealueet: X-akseli 762 mm, Y-akseli 305 mm, Z-akseli 406 mm.

Työkalumakasiinissa on kymmenelle työkalulle paikat. [6.]



Kuva 3. Haas TM-1P pystykarainen työstökeskus

6 Koneistaminen

6.1 Lastuava työstö

Metallin työstö voi olla muovaavaa, leikkaavaa ja lastuavaa. Poraus, hionta, jyrsintä ja sorvaus ovat lastuamisen menetelmiä. Kun puukolla veistetään puuta, lastua irtoaa vain, jos on terävä terä ja se on oikeassa kulmassa. Metallia lastuttaessa pätevät samat periaatteet. Toisin sanoen osa valmistellaan poistamalla aihioista ainetta lastuina niin kauan, kunnes saadaan haluttu muoto. Lastuamalla on mahdollista valmistella tarkkamittaiset osat [4.]

6.2 Raex 400

Raex on kova ja luja kulutusteräs. Raex 400 -numerotunnus kuvaa teräksen kovuutta HBW-yksikössä. Raex kestää hankaavaa kulutusta ja kovaa pintapainetta. Taulukossa 1 on esitetty Raex 400:n tekniset ominaisuudet. [7.]

Hyvien leikkaus-, hitsaus- ja muovausominaisuuksien ansiosta Raex on erinomainen teräs konepajakäytössä. Raex soveltuu erinomaisesti erilaisten koneenosien valmistamiseen esim. kaivostekniikassa ja maataloudessa. Taulukossa 2 on esitetty Raex 400:n rouhintajyrsinnän lastuamisarvot.

Teräs kestää kovaa käyttöä. Sen ominaisuudet mahdollistavat porauksen, upotuksen, kierteityksen ja jyrsimisen perinteisillä koneistustekniikoilla.

Raexista on valmistettu kaivinkoneiden ja etukuormaimien kauhat, raskaiden maansiirtokoneiden lavat, kaivoksen kuljetinjärjestelmät, murskaimet, siilot ja suppilot. Raex-tuoteperheen ohuempia kulutusta kestäviä laatuja on käytetty jo vuosia kuljetusvälinealusteissa.

Raex-terästen tasalaatuisuus pidentää käyttöaikaa. Kun käyttöikä pitenee, niin investoinnit tuovat enemmän hyötyä asiakkaille ja kilpailukykyä tuotteiden valmistajalle.

Tässä tapauksessa Raex 400:aa käytetään terien ristiin menemisen esteeksi. Kova ja luja teräs ei väänny niin helposti normaaliin teräkseen verrattuna.

Kovuus (HBW)	Myötölujuus Rp0,2MPa	Murtolujuus Rm MPa	Murtovenymä A %	Iskusitkeys Charpy V, 20 J
360-440	1000	1250	10	−40 °C

Taulukko 1. Raex 400, tekniset ominaisuudet. [7.]

Rouhintajyrsintä, lastuamisneste	Kääntöterä P40 Lastuamisnopeus m/min	Syöttö mm/hammas	Lastuamissyvyys mm
Raex 400	75–90	0,1–0,2	2–5

Taulukko 2. Raex 400, rouhintajyrsinnän lastuamisarvot. [8.]

7 CAD-CAM

CAM on lyhenne englanninkielisistä sanoista Computer Aided Manufacturing eli tietokoneavusteinen valmistus. CAM eli tietokoneavusteinen valmistus yleisesti viittaa numeerisen ohjauksen (NC) käyttöön CAM-ohjelmistolla. CAM-ohjelmiston avulla luodaan erilaisia ohjelmia. Ohjelmien sisältö on yleensä yksityiskohtainen ja se käytetään osien valmistukseen tietokoneohjatuilla työstökoneilla eli CNC-koneella.

CAM-ohjelmistot tehostavat suunnitteluprosessia ja säästävät resursseja. Se on erittäin tehokas apuväline monille yrityksille ympäri maailmaa. Perinteinen ohjelmointi ja NC-ohjelman koodaus on hyvin monimutkainen ja aikaa vievää prosessi.

Varsinkin jos yritykset pyrkivät räätälöimään omat tuotteet asiakkaiden tarpeiden mukaan, suunnitteluprosessi vie merkittävän osan koko tuotantoprosessista.

CAM-ohjelmistot tarjoavat älykkäitä ratkaisuja ja tehokkuutta tuotantoon. [4.]

7.1 SolidWorks

SolidWorks on parametrinen 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmisto. Sen avulla on mahdollista luoda, simuloida, julkaista ja hallita tietoja. Ohjelmistoa käytetään hyvin erilaisiin tarpeisiin, esimerkiksi koneiden, laitteiden tai yksittäisen kappaleen suunnittelussa.

SolidWorks-ohjelmisto sisältää tilavuus- ja pintamallinnustyökalut sekä monia erilaisia lisäsovelluksia, jotka laajentavat ohjelmiston käytettävyyttä. SolidWorks on helppokäyttöinen ja ensimmäinen täysin Windows-pohjainen parametrinen mekaniikkasuunnitteluohjelma, joka on suunniteltu insinööreille, suunnittelijoille ja muille asiantuntijoille, jotta he pystyvät luomaan uusia tuotteita hyödyntäen ohjelmiston 3D-ominaisuuksia.

SolidWorksin kotisivujen mukaan 2 170 100 tuotesuunnittelijaa ja insinööriä 182 300 organisaatiossa eri puolilla maailmaa käyttää SolidWorksin ohjelmistoja, sekä pienten muovituotteiden että myös suurten metsäkoneiden suunnitteluun ja kehittämiseen.

SolidWorksia valmistaa ranskalainen Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. Pääkonttori sijaitsee Amerikassa, paikassa Waltham, Massachusetts. Yrityksen historia alkaa Amerikasta vuonna 1993. Yrityksen osti vuonna 1997 Ranskassa Dassault Systèmes, joka on maailman johtava tuotteiden elinkaaren hallintaratkaisujen kehittäjä.

SolidWorksin tuotteet jakautuvat kolmeen eri kokonaisuuteen: Standard, Professional ja Premium. Jokainen kokonaisuus on erihintainen ja sisältää erilaisia lisäsovelluksia. Ideana on se, että jokainen asiakas voi räätälöidä oman SolidWorksin tarpeiden mukaan. SolidWorks mainostaa myös, että kaikki tuotteet sisältä ovat helppoja oppia ja käyttää ja ne toimivat saumattomasti yhdessä. Ohjelmisto on ehdoton työkalu, joka voi auttaa ammattilaisia säästämään aikaa ja henkilöresursseja sekä toimimaan tehokkaasti.

Ohjelmiston toiminta antaa luomaan kolmenlaisia perustietoja eli osia, kokoonpanoja ja valmistuspiirustuksia. Kaikki tiedot ovat sidoksissa toisiinsa, ja jos piirustuksessa jokin mitta vaihtuu, niin se vaihtuu automaattisesti muualla. Osien tai kokoonpanojen mittoja voidaan myös linkittää. Se helpottaa työtä silloin, kun muutetaan vaikka toista osaa ja silloin muut kappaleet seuraavat muutetun kappaleen mittoja. Ohjelma salli Excel-taulukkolaskentaohjelman käyttöä.

Mallintaminen perustuu piirteisiin, ja se onkin suurin ero varattuna 2D-CAD-ohjelmistoihin. [9.]

7.2 Mastercam

Mastercam-ohjelman on kehittänyt Yhdysvalloissa yritys nimeltä CNC Software. Yritys on perustettu vuonna 1983 Massachusettsiin. Mastercamin virallisilla kotisivuilla löytyy tietoa, että Mastercam on Suomen ja koko maailman suosituin CAD-ohjelmisto.

Mastercamiin voi ladata CAD-tiedostoja ja niiden pohjalta luoda työstöratoja CNC-työstökoneille. Mastercamin tiedostokääntäjän avulla on mahdollista lukea monissa muissa ohjelmistoissa mallinnettua mallia ja hyödyntää ne suoraan. Mallinnusta voi myös tehdä alusta asti Mastercamissa. Ohjelma sisältää 3D-CAD-sovelluksen, jolla voi tehdä omia malleja tai muutoksia olemassa oleviin malleihin sekä piirtää apugeometriaa.

Mastercamilla on laaja valikoima työstöratatyylejä, kuten profiili, poraus, tasku, tasaus, kuorinta, kaiverrus, suurnopeustyöstöradat, moniakseliradat jne.

Erilaiset työstöradat auttavat koneistajaa tuottamaan tehokkaasti ja tarkasti myös monimutkaisia osia. Mastercamissa on mahdollista simuloida työstöratioja ja ajaa niitä virtuaalisten työstökeskuksien avulla.

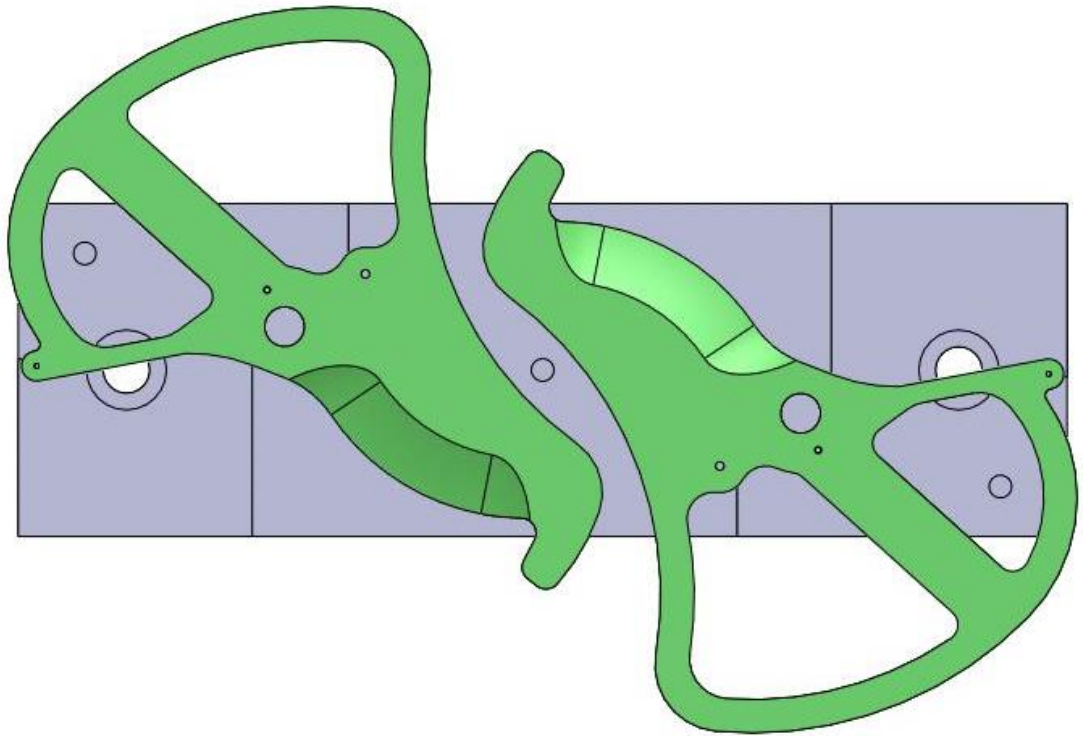
8 Työn suoritus

8.1 Kappaleen kiinnitys

Koneistuksessa syntyy kappaleeseen kohdistuvia voimia, jotka pyrkivät irrottamaan kappaleen kiinnityksestä. Kappaleet eli pystykarsintalaitteen terät porataan, jyskitään ja niihin tehdään kierre. Porauksesta syntyy akselinsuuntainen syöttövoima ja lastuamisvoiman aiheuttama kierto. Lisäksi jysinnässä tulee sivuttaissuuntainen syöttövoima. Jotta kappale pysyisi paikoillaan eikä liikkuisi, tulee se kiinnittää tukevasti. On useita eri menetelmiä, miten kiinnittää kappale. Tässä tapauksessa pitää ottaa huomioon seuraavat asiat:

- Kappaleen muoto on monimutkainen.
- Kappale on kovasta materiaalista.
- Kappaleeseen kohdistuu voimia sekä sivulta että ylhäältä.

Ratkaisu on kiinnitysjiigi. Kuvassa 4 on havainnollistettu pystykarsintalaitteen teriä jigin päällä.



Kuva 4. Falco 50 -vastaterät jigin päällä

Jigit tehtiin alumiinista, johon koneistettiin terien geometriat. Alumiiniin jysyttiin 2 millimetriä syvät muodot. Terät kiinnitettiin jigiin pulteilla. Jigin suunnittelussa otettiin huomioon seuraavat asiat:

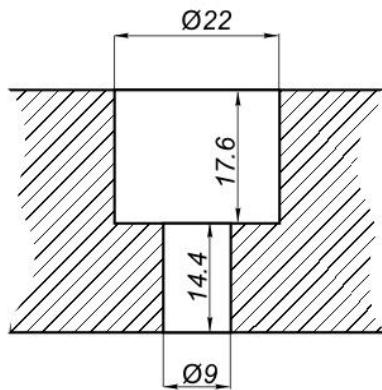
- Terän sijainti jigin päällä:
 - Koneistettavalla alueella pitää olla tilaa jysymisen työskentelyä varten.
 - Terän kierreleikiä varten jigissä pitää olla tyhjä tila reiän alla paitsi vastaterässä, missä ketjun kiinnitysreikä pitää jättää jigin ulkopuolelle, koska vastaterän ketjun kiinnitysreiän kohdalle ketju-ura jysytetään sivusta.
- Koneistettavuus:
 - Terän pitää olla tuettu neljästä suunnasta.
 - Kallistumisen estäminen.

- Ei värise/tärise.
- Terän vaihto jigissä:
 - Nopea kappaleen vaihto.
 - Vaihdon jälkeen kappale osuu samaan paikkaan.
 - Yhdellä kiinnityksellä tuetaan useampi kohta.
 - Terän kiinnitys jigisiin ei saa olla koneistuksen esteenä.

Jigi valmistettiin 300x100x32-millimetrisestä alumiinista. Pystykarsintalaiteen malleja on kaksi ja jokainen malli sisältää kahdet terät. Oli tehtävä neljä erilaista jigiiä. Falco 30 -teriä mahtuu neljä per jigi ja Falco 50 -teriä mahtuu kaksi per jigi. Tulevaisuudessa jigien koko voi olla NC-koneen työpöydän kokoinen.

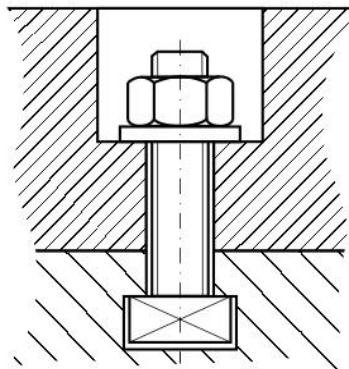
Koska jigien yläpinta jyskitään kokonaan, kiinnitys on suunniteltava niin, että se ei ole jysynnän esteenä. Jigi kiinnitetään työpöytään T-urista M8-kiinnitysruuvilla ja M8-muttereilla (kuva 6). Mutterin ja alumiinipalikan välissä on aluslevy. Mutteri upotetaan yläpinnan alle. Jigi kiinnitetään kahdesta paikasta.

Ensimmäiseksi jigisiin porataan kiinnitysreiät. Jigin aihio kiinnitetään koneruuvipuristimeen, joka on kiinnitetty NC-koneen työpöytään. Jigiin porattiin halkaisijaltaan 9 millimetriä oleva läporeikä. Jigiin tehtiin myös halkaisijaltaan 22 millimetriä ja 17,6 millimetriä syvä upotus mutteria ja aluslevyä varten (kuva 5).



Kuva 5. Aihio kiinnitysreikä

Nyt jigi voitiin kiinnittää työpöytään kiinnitysrei'istä. Ennen kuin kappale kiinnitetään, on tehtävä kohdistus. Mittakelloa apuna käyttäen mitataan aihion etupinnasta vasemmalta laidalta ja sama oikealta laidalta. Kun lukemat ovat samoja, aihio on kohdistettu.



Kuva 6. Jigin kiinnitys työpöytään kiinnitysrei'istä

Seuraavaksi piti suunnitella pystykarsintalaitteen terien sijainti jigissä. Apuna käytettiin laserilla poltettuja teriä ja aihiota. Terät laitettiin alumiinin päälle ja kokeiltiin terien eri paikkoja ja asentoja. Kokeilujen jälkeen löydettiin terien sijainti jigiiin.

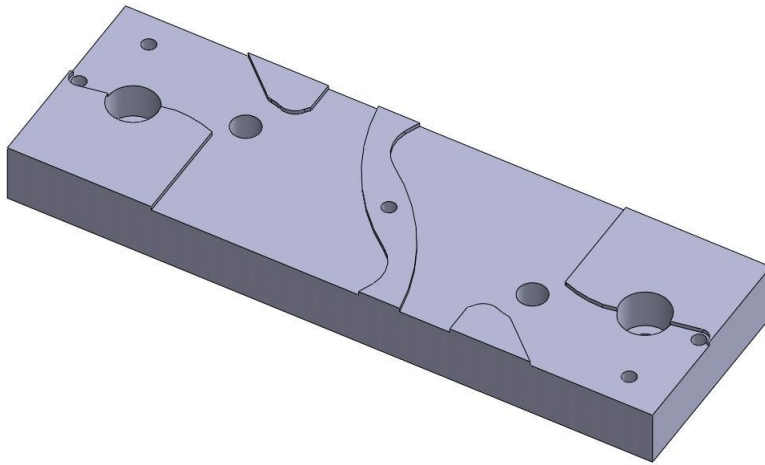
Taulukosta 3 näkee, mitä työkaluja käytettiin jigin koneistamiseen.

	Falco 30 Koukkuterä	Falco 30 Vastaterä	Falco 50 Koukkuterä	Falco 50 Vastaterä
Poraus	Keskiöpora 3,25 Pora 6.8	Keskiöpora 3,25 Pora 6.8 Kiilajyrsin 14	Keskiöpora 3,25 Pora 6.8 Kiilajyrsin 14	Keskiöpora 3,25 Pora 6.8
Kierre	Kierretappi M8	Kierretappi M8	Kierretappi M8	Kierretappi M8
Jyrsintä	Jyrsin 14	Jyrsin 14 Jyrsin 8	Jyrsin 14	Jyrsin 14

Taulukko 3. Työkalut jigin koneistamista varten

8.1.1 Jigin mallintaminen

Jigin mallintamisessa käytettiin SolidWorks-ohjelmaa, jossa kopioitiin jo mallinnettujen terien geometriat ja laitettiin ne mallinnetun 300x100x32-aihion päälle. Sitten leikattiin kaksi millimetriä syvät muodot. [10.] Lisäksi mallinnettiin M8-kierrereiät terien kiinnitystä varten sekä terien kierteyttä varten halkaisijaltaan 14-millimetriset reiät. Kuvassa 7 jigi, mallinnettu SolidWorks-ohjelmassa. SolidWorksissa mallinnettu jigi vietiin Mastercamiin ja tehtiin NC-ohjelma.

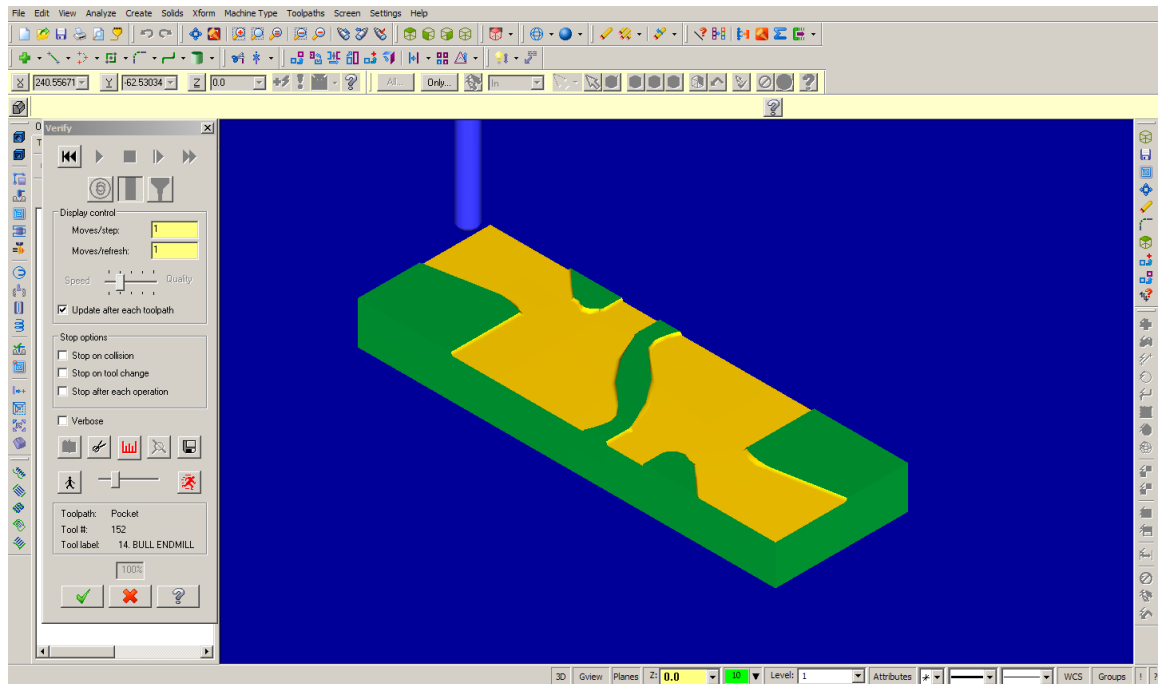


Kuva 7. Falco 50, vastaterän jigi, mallinnettu SolidWorks-ohjelmassa

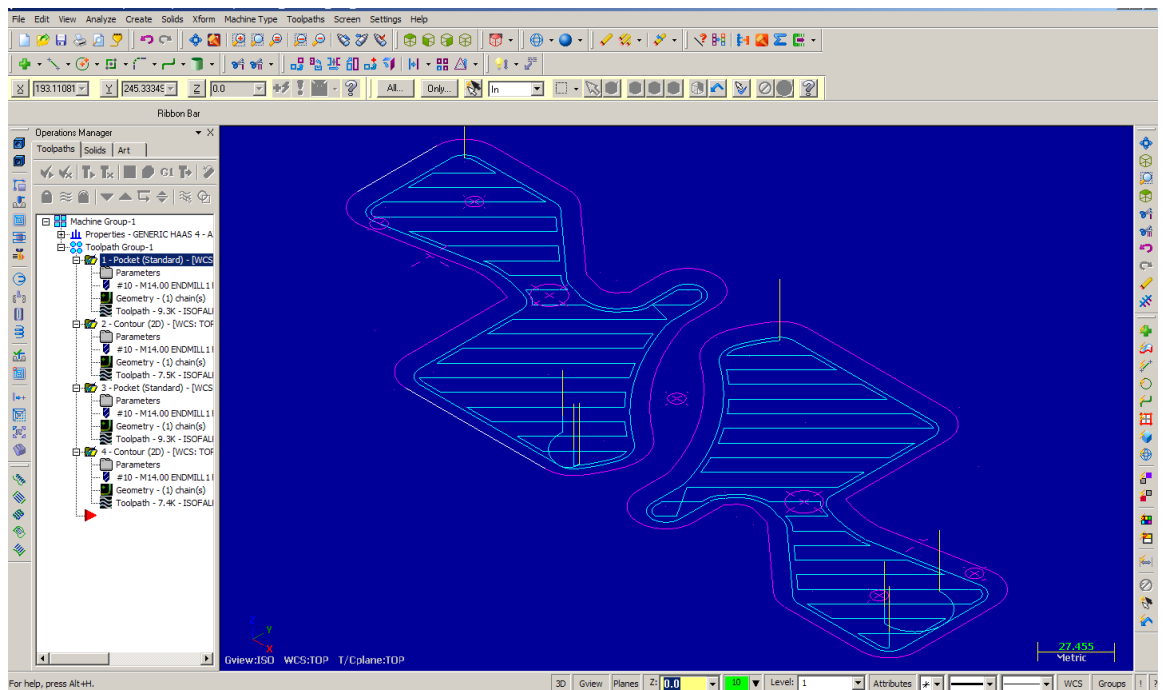
8.1.2 Jigin ohjelmointi

Ohjelmointi tapahtui Mastercam-ohjelmalla. SolidWorks-malli siirrettiin Mastercamiin. Valittiin kohtia, jotka haluttiin jyrsiä, luotiin työstöratoja (kuva 9) ja simuloitiin (kuva 8). Seuraavaksi siirrettiin ohjelma tekstimuotoon. Origo (nollapiste) määritettiin vasemmalle alanurkkaan.

Muodon jyrsintä tehtiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe oli alkujyrsintä, jolla jyrsittiin jigin muoto zigzag-menetelmällä koko alueelta. Toinen vaihe oli viimeistely, jossa jyrsittiin muodon reunoja pitkin ensimmäisestä vaiheesta jäänyttä materiaalia.



Kuva 8. Falco 50, vastaterän jigin simulointi Mastercamissa



Kuva 9. Falco 50, vastaterän jigin työstöratja Mastercamissa

8.1.3 Jigin koneistaminen

Ensin laskettiin suuntaa antavia pyörimisnopeuksia ja syöttönopeuksia.

Pyörimisnopeus jysinnälle lasketaan kaavasta

$$n = \frac{v \times 1000}{\pi \times d} \quad (1)$$

missä

n pyörimisnopeus (r / \min)

v lastuamisnopeus (m / \min)

d työkalun halkaisija (mm)

Lastuamisnopeus valitaan taulukosta v [3.]

Syöttönopeus lasketaan kaavasta

$$s = s_z \cdot Z \cdot n \quad (2)$$

missä

s_z hammaskohtainen syöttö

Z hampaiden lukumäärä

n pyörimisnopeus

Hammaskohtainen syöttö valitaan taulukosta $s_z = 0,1mm$ [3.]

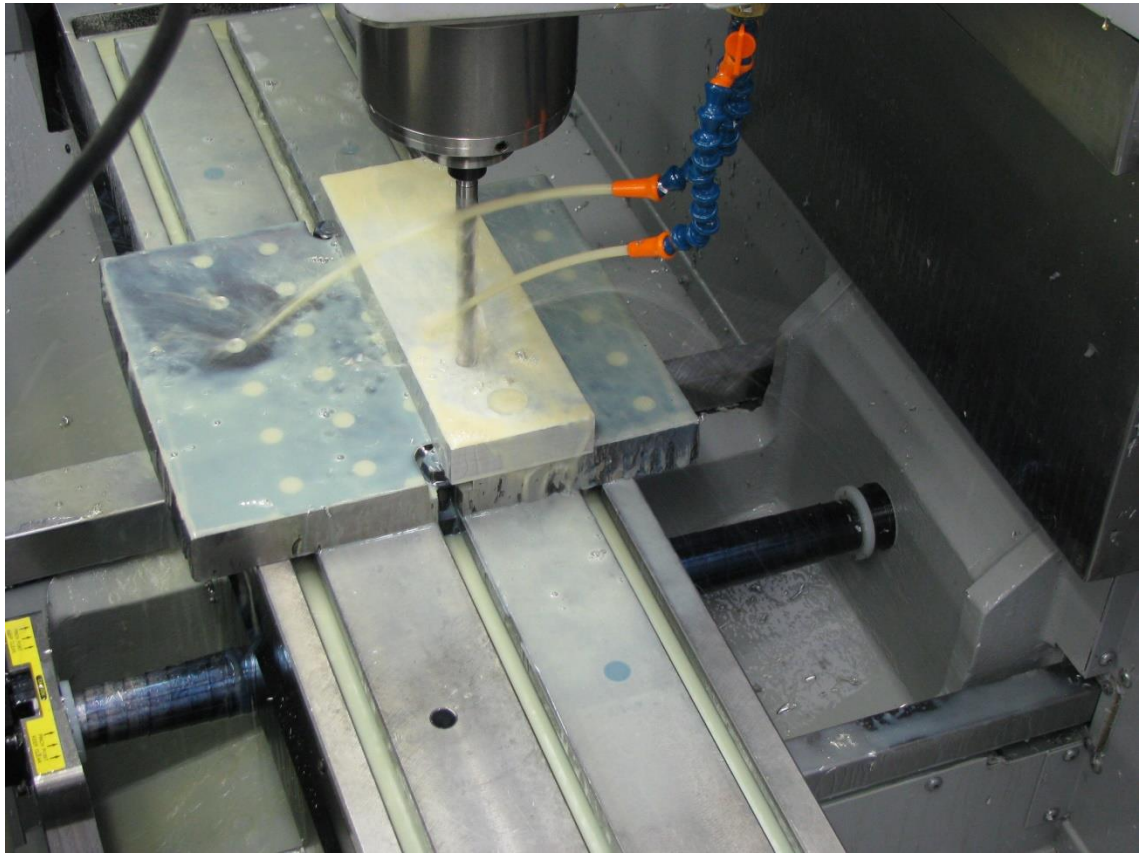
Taulukossa 4 ovat lasketut pyörimisnopeudet ja syöttönopeudet jigin koneistamisessa.

	Pyörimisnopeus	Syöttönopeus
Poraus		
Keskiopora 3,25	9794	1959
Pora 6.8	4681	936
Kiilajyrsin 14 mm	2273	455
Jyrsintä		
Jyrsin 14 mm	3410	682
Jyrsin 8 mm	5968	1193

Taulukko 5. Pyörimisnopeudet ja syöttönopeudet jigin koneistamisessa

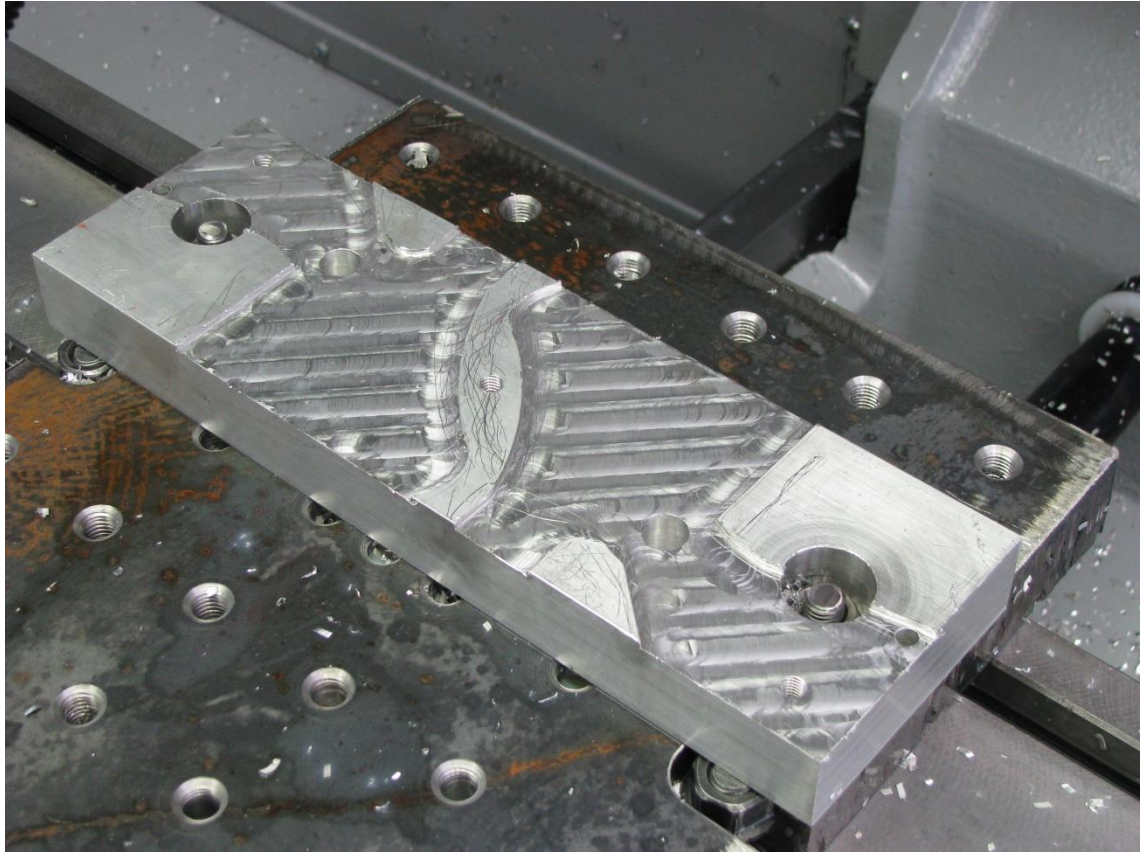
Alumiini on lastuavuudeltaan hyvä materiaali. Mitä kovempi alumiini, sitä parempi on lastuaminen. [11.] Tässä käytetty alumiini oli 2024 T4, joka on liuotushehkutettu ja luonnollisesti vanhenettu.

Ennen jigin aihion jyrsimistä oli testattava NC-ohjelma. Origo nostettiin kaksi millimetriä ylös z-suunnassa ja ohjelma ajettiin niin, että aihion päälle jäi jäljet. Nähtiin, että ohjelma toimii. Sen jälkeen origo laskettiin takaisin ja ohjelma ajettiin uudestaan. Kuvassa 10 on kuvattu jigin koneistaminen.



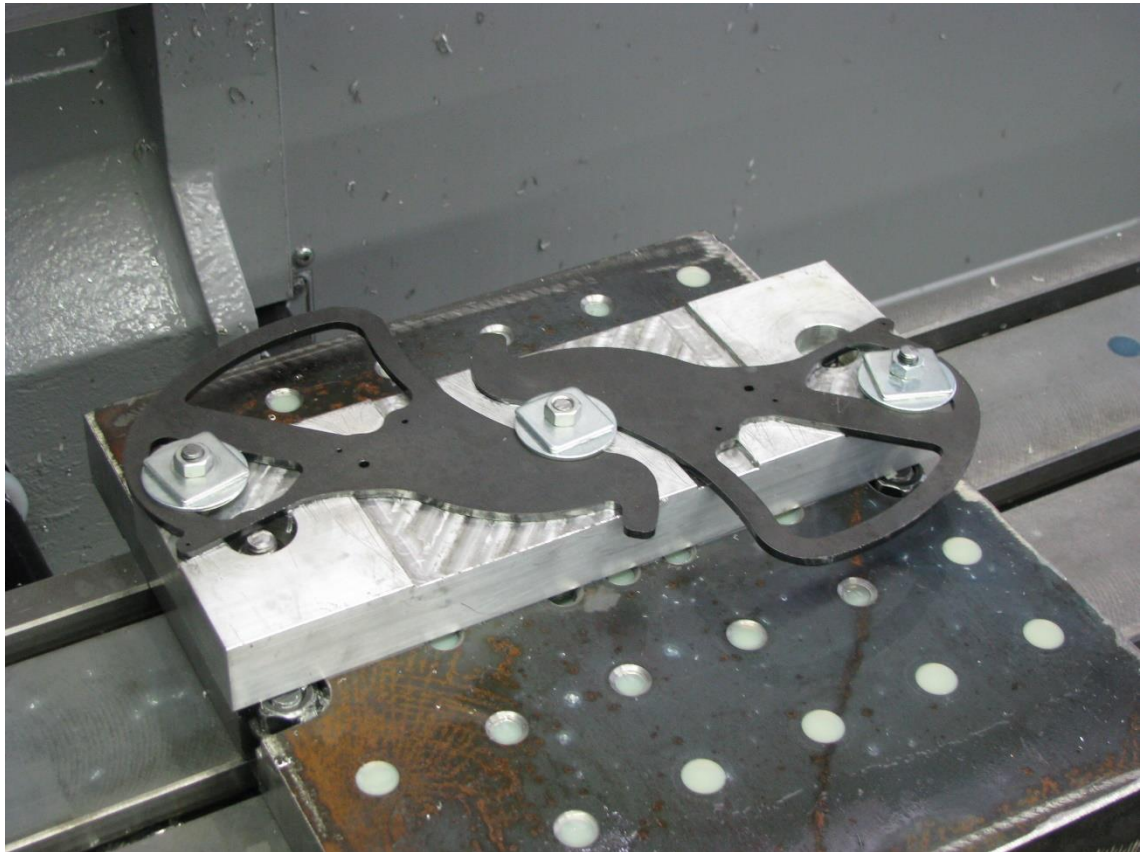
Kuva 10. Jigin koneistaminen

Kuvassa 11 on kuvattu koneistettu jigi.



Kuva 11. Valmis jigi

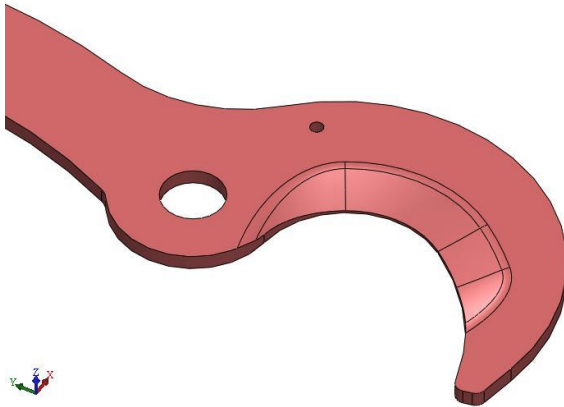
Kuvassa 12 on kuvattu pystykarsintalaitteen terät jigien päällä.



Kuva 12. Terät kiinni jigissä

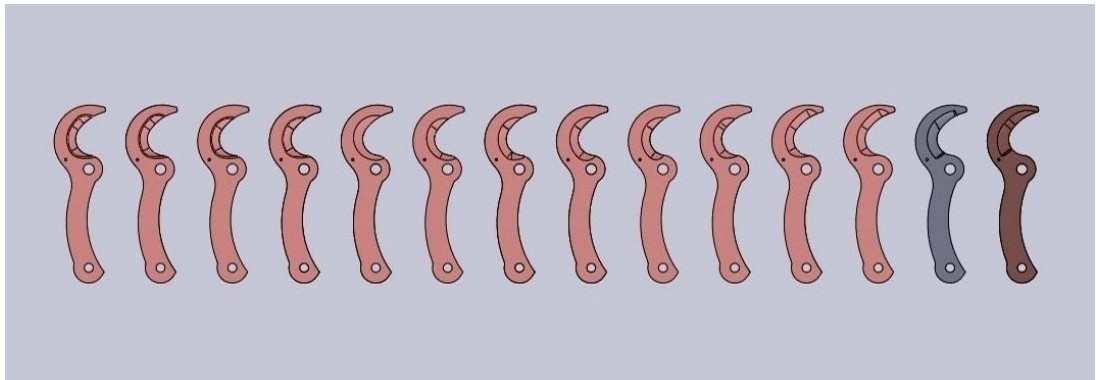
8.2 Mallintaminen

Mallintaminen tehtiin SolidWorksissa. Mallintamisen yhteydessä tapahtui tuotekehitystä. 3D-ohjelmassa pystyttiin kokeilemaan teroituksen eri muodon vaihtoehtoja. Kuvassa 13 on esitetty mallinnettu terä. 3D-ohjelman avulla pystyttiin katsomaan suoraan näytöltä terien toimivuutta. Terät testattiin ohjelmassa, ja yritimme hahmottaa lopputulosta mallinnetun oksan avulla. Toiveena oli saada kovera muoto, jota ei saa hiomalla tehtyä.



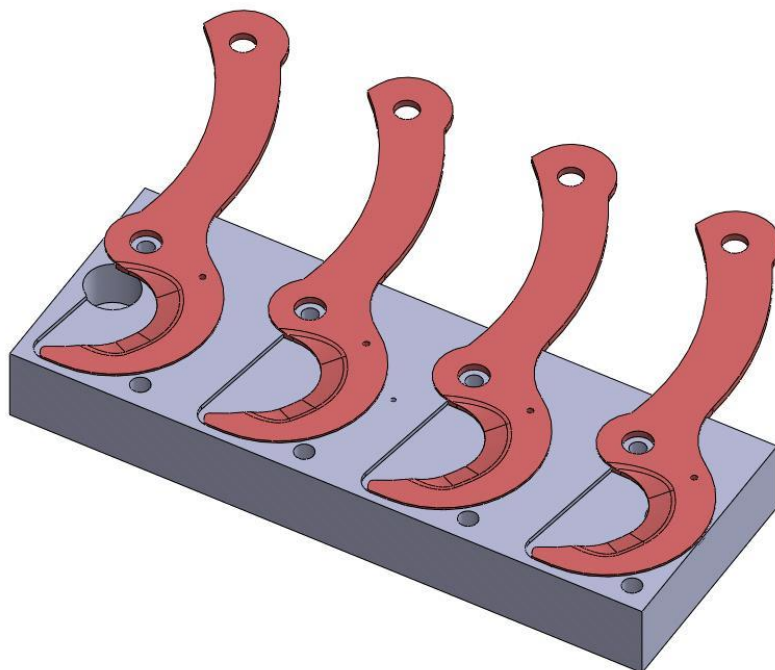
Kuva 13. Pystykarsintalaitteen terä mallinnettu SolidWorksissa

Teroituksen muodosta oli niin paljon mielipiteitä kuin miehiä. Teroituksen muoto pitää olla helposti koneistettava ja toimiva karsinnan kannalta. Kuvassa 14 näkyy Falco 30 -koukkuterien teroitusvaihtoehtoja.



Kuva 14. Falco 30, koukkuterien teroitusvaihtoehtoja

Mallinnetut terät yhdistettiin mallinnetun jigien kanssa. SolidWorksin kokoonpanossa (Assembly) komponentit liitetään toisiinsa geometrisilla ehdoilla eli Mate-työkalulla. Mate-työkalulla määritetään, miten kappaleet kohdistetaan toisiinsa, esimerkiksi yhdensuuntaisiksi. Jigi ja terät kohdistettiin toisiinsa käyttämällä Mate-työkalussa kappaleiden pintoja ja särmiä (kuva 15).



Kuva 15. Mallinnetut Falco 30 -koukkuterät jigissä kiinni

8.3 Ohjelmointi

Mastercam ei tue suoraan SolidWorksin kokoonpanon (Assembly) tiedostomuotoa SLDASM ja osanvalmistuksen (Parts) tiedostomuotoa SLDPRT. Jouduttiin muuttamaan SolidWorks-tiedosto eri tiedostotyyppiin. Ensimmäiseksi SolidWorksin kokoonpanotiedostoa muutettiin osanvalmistustiedoksi, muuten Mastercamissa katoavat osat SolidWorksin kokoonpanotiedostosta. Tiedostotyyppin muuttaminen SolidWorksissa on helppo ja löytyy kohdasta Tiedosto, Tallenna nimellä ja valintaikkunasta valitaan haluttu tiedostomuoto. Yhteiset tiedostomuodot, jotka tukevat sekä SolidWorksia että Mastercamia, oli yli kymmenen. Niitä kokeiltiin kaikkia ja valittiin IGES-tyyppi, koska Mastercam ymmärsi tiedoston pintoja, jotka tarvittiin työn kannalta. Muut tiedostot Mastercam näytti vain viivoina tai pisteinä, tai ne olivat liian raskaita tiedostoja.

SolidWorks- ja Mastercam-ohjelmalla oli nopea ja helppo tehdä muutoksia teroituksen muotoon. Jos koneistuksen jälkeen huomattiin, että terästä ei tullut oikeanlainen, tehtiin SolidWorks-malliin muutoksia. Sen jälkeen siirrettiin muutettu malli Mastercamiin, tarvittaessa muutettiin työstörajoja ja tehtiin uusi NC-ohjelma.

Kaikki tehdyt ohjelmat tallennettiin tietokoneelle. Kun haluttiin koneistaa aiemmin tehty kappale, haettiin sille ohjelma tietokoneelta. Vaihdettiin aihiot ja laitettiin kone päälle.

8.4 Koneistus

Mastercamilla tehty ohjelma siirrettiin NC- koneelle. Nauhalla teroitus tapahtui aina yksi kappale kerralla. NC-koneelle siirtyessä pystytään asettamaan useampaa kappaletta kerrallaan, joten ylimääräinen kappaleen vaihto jää pois.

Samalla voidaan hyödyntää NC-koneistuskeseuksen automaattista työkalunvaihtoa. Ennen hi-onta, poraaminen ja kierteen teko tapahtui kolmessa eri vaiheessa, nyt pystytään tekemään kaikki nämä vaiheet kappaleen ollessa kiinni samassa paikassa. Näin säästetään lisää työaikaa. Taulukossa 6 näkyy koneistuksessa käytettyjä työkaluja.

	Falco 30 koukkuterä	Falco 30 vastaterä	Falco 50 koukkuterä	Falco 50 vastaterä
Poraus		Pora 10.5 Pora 3,35		Pora 10,5 Pora 3,35
Kierre		Kierretappi M12x1.5 Kierretappi M4		Kierretappi M12x1.5 Kierretappi M4
Jyrsintä	Jyrsin 25 R6	Jyrsin 25 R6 Kiekkojyrsin 80	Jyrsin 25 R6	Jyrsin 25 R6 Kiekkojyrsin 80

Taulukko 7. Koneistuksessa käytettyjä työkaluja

Teroituksen koneistuksessa käytettiin muotojyrsintä Sandvik CoroMill 300 Jyrsin25R6.

CoroMill 300 -jyrsimet (kuva 16) on varustettu pyöreillä terillä ja sopivat erilaisiin töihin, esim. tasojyrsintään, taskujen jyrsintään ja muotojyrsintään. Kevytleikkaisuus antaa mahdollisuudet jouheviin avaus- ja irrotusliikkeisiin ja pitkien työkalujen käyttöön.

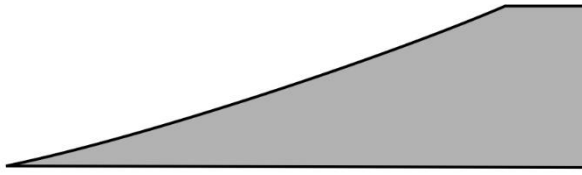
Pienten lastuamisvoimien ansiosta ja pienillä lastuamissyvyyksillä terät eivät kuumene niin paljon. Verrattuna tavanomaiseen koneistukseen pöytäsyöttö voi kasvaa noin 5–10-kertaiseksi. [12.]



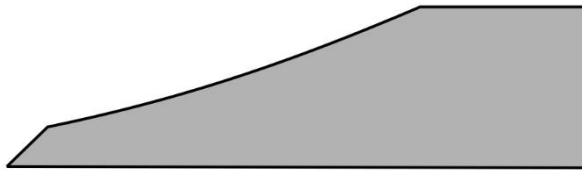
Kuva 16. CoroMill 300 -jyrsimet

Tarkoituksena oli kokeilla erilaisia työstöratoja ja syöttönopeuksia ja lopputuloksena saada ajaltaan lyhyin työsuoritus. Tehtiin yli 30 ajoa. Ensimmäinen ajo kesti noin 13 minuuttia ja viimeiset alle 4 minuuttia.

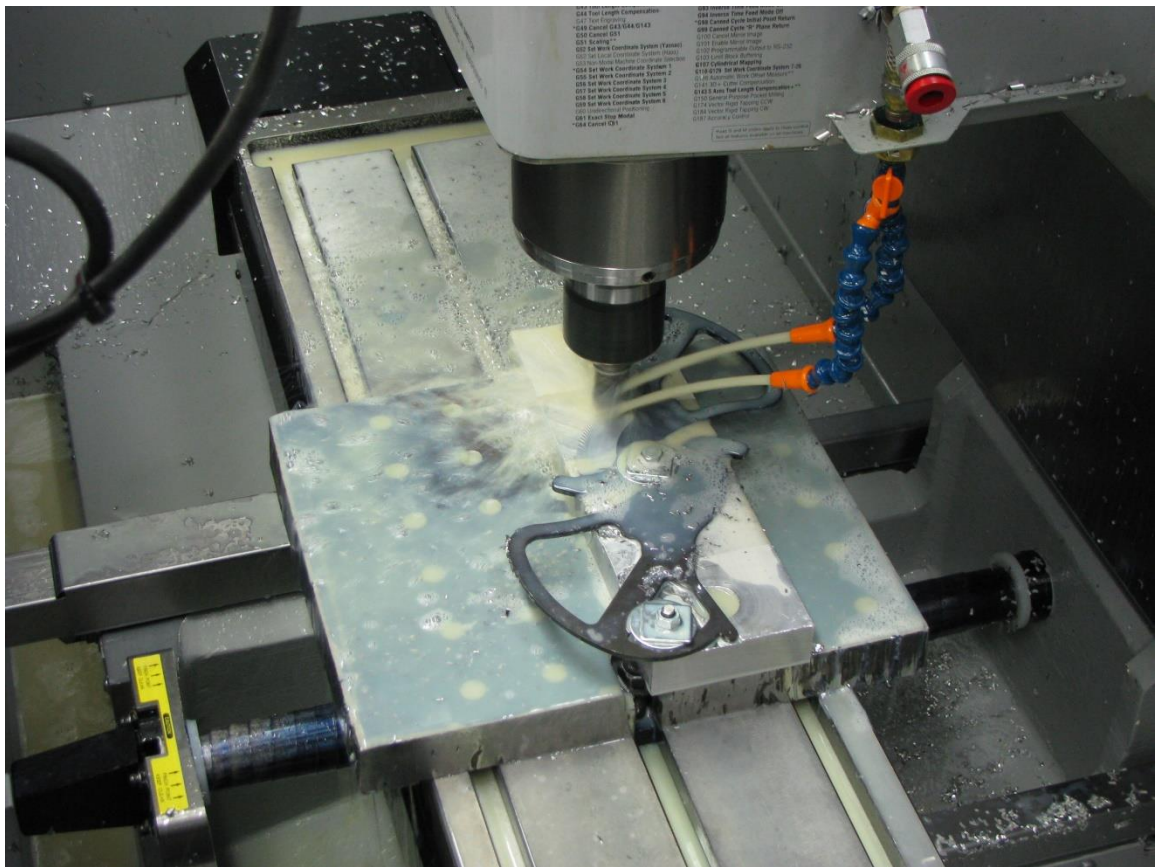
Ensimmäisenä ajettiin iso Falco 50 -alaterä (kuva 19). Nauhalla hiotusta teränmuodosta tuli suora. Terämuodosta haluttiin kovera. Ajon jälkeen huomattiin, että koneistettiin liian paljon materiaalia pois. Terästä tuli ohut ja hauras. Päätettiin nostaa muotoa 1 mm ylöspäin ja tehdä teroituksesta kaksoismuotoinen. Tarkoittaa, että terä muodostuu kahdesta kulmasta. Kovera muoto on puukoissa leikkaava ja kaksoismuoto tekee terästä kestävämmän. [13.] Tehtyjen muutosten jälkeen teroituksen muotoon oltiin tyytyväisiä. Ero on havainnollistettu kuvissa 17 ja 18 sekä kuvissa 20 ja 21.



Kuva 17. Teroituksen muoto ensimmäisen ajon jälkeen



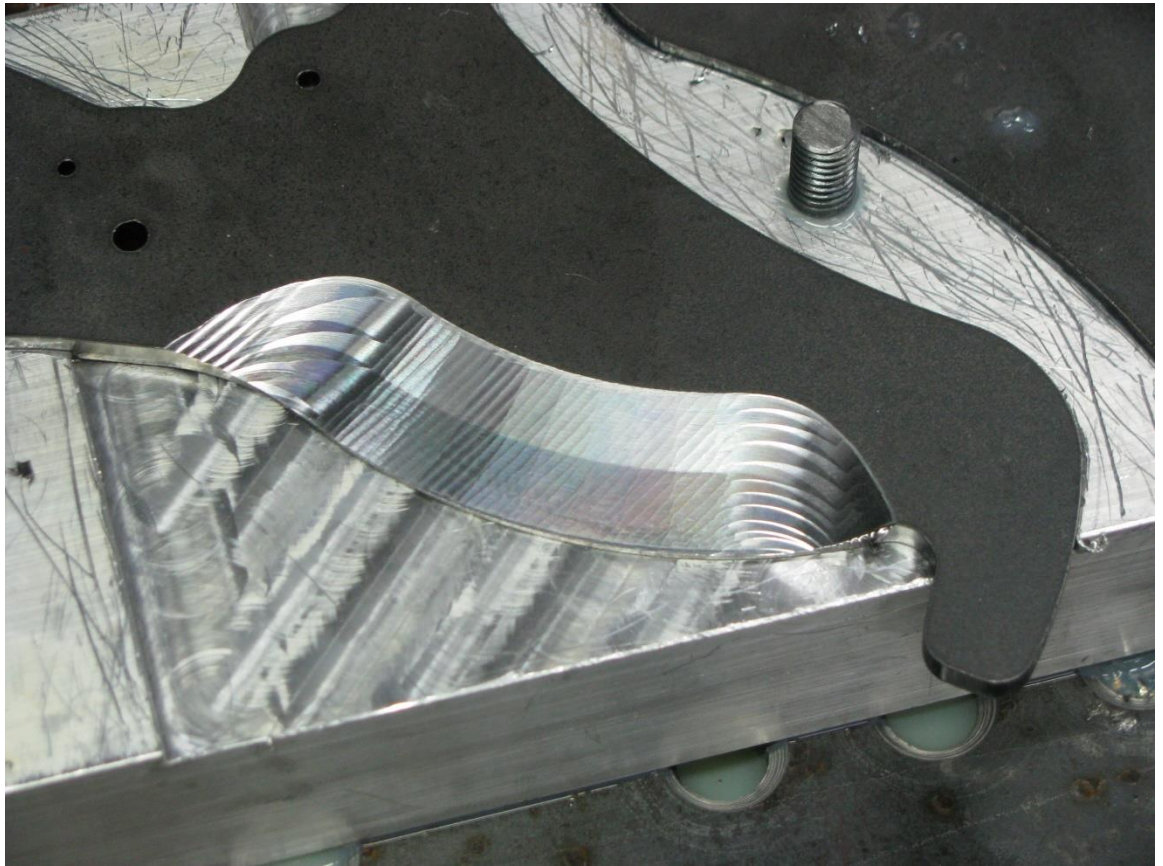
Kuva 18. Teroituksen muoto toisen ajon jälkeen



Kuva 19. Terän koneistaminen



Kuva 20. Teroituksen muoto ensimmäisen ajon jälkeen

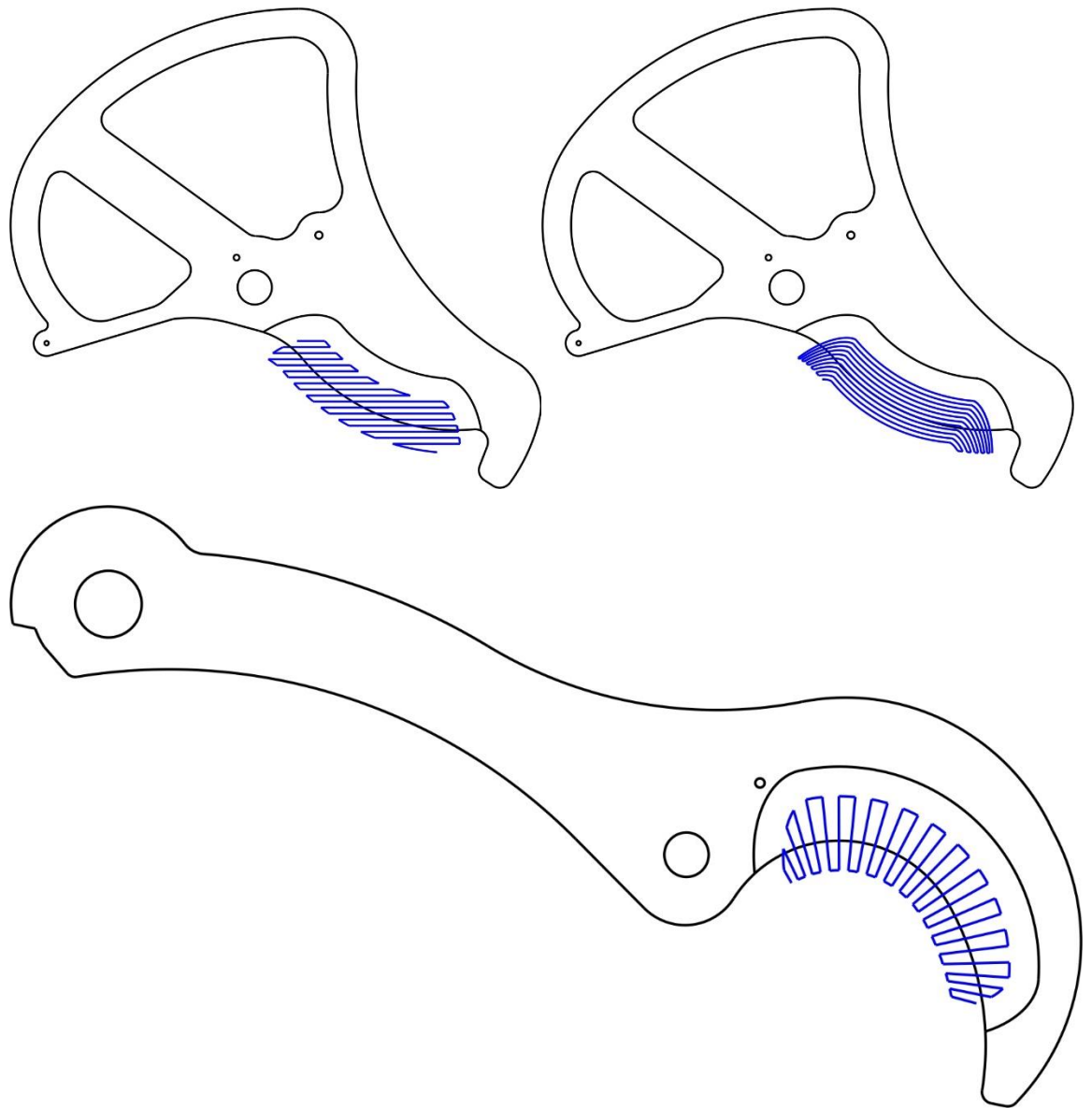


Kuva 21. Teroituksen muoto toisen ajon jälkeen

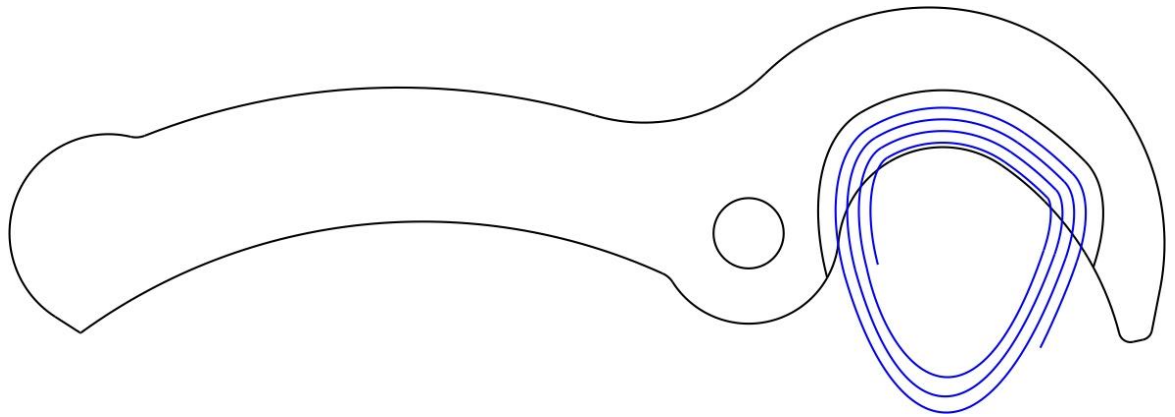
Ensimmäisien koneistuksien jälkeen nähtiin, mihin suuntaan terä pitää muuttaa.

Tässä vaiheessa vasta opeteltiin monimutkaisten muotojen ohjelmointia ja osaamisessa oli puutteita.

Kokeiltiin erilaisia työstöratoja (kuva 22 ja 23). Työstöratoja määritettiin Mastercam-ohjelmassa. Lähes jokainen ajo antoi taas uusia ideoita kehittämiseen. Yritettiin saada työstörata, jossa ei olisi ylimääräisiä liikkeitä. Sen jälkeen kun ajettiin zig zagia ja edes takaisin ja muita, tulimme siihen tulokseen, että spiraalimuoto on optimaalinen ja lyhin.



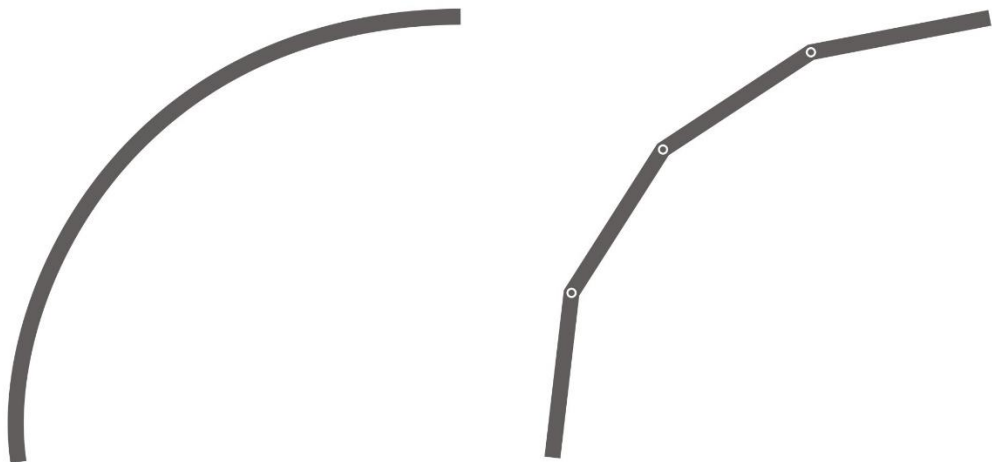
Kuva 22. Esimerkkejä erilaisista työstöradoista



Kuva 23. Työstörataspiraali

Prosessissa huomattiin, että kone tärisee ja että NC-ohjelmassa on tuhansia rivejä. Zoomaamalla Mastercamissa työstöratoja huomattiin, että kaaret koostuivat tuhansista pikkuviivoista (kuva 24), eli työkalun liikerata rakentui lineaari-interpolaatiolla. Tavoitteena oli yhtenäinen ympyräkaari. Ei löydetty siihen ratkaisua, joten päätettiin luopua Mastercamista kokonaan. Mastercamin tilalle on ehdotettu C-kieltä.

Terien teroitus NC-koneella on onnistunut, mutta ohjelmaratojen ohjelmointi Mastercamissa oli haasteellinen.



Kuva 24. Zoomattu kaari näytti viivoilta

9 Laadun tarkastus

Kokeiluissa tehtiin monta terää. Kokeiluissa saimme halutun muodon, joka oli sopivasti karkea ja sen koneistusaika oli alle neljä minuuttia. Päätimme lähteä metsään testaamaan NC-teroitettua terää ja tekemään vertailua hiotun terän kanssa.

Uudella terällä oksan kuori ei revennyt ja viimeinen oksaa kannatteleva puuaine jäi oksan keskelle. Työskennellessä uudella terällä ei huomattu eroa edelliseen nauhalla hiottuun. Oksien leikkaaminen on onnistunut yhtä hyvin. Kuvassa 25 on kuvattu NC-koneella teroitetulla terällä leikattu oksa.



Kuva 26. NC-koneella teroitetulla terällä leikattu oksa

10 Pohdinta

Tässä työssä käsiteltiin terien teroituksen kehitystä NC-tekniikan avulla. Työn tarkoituksena oli kokeilla terien teroitusta NC-koneella ja mahdollisesti jatkossa luopua hiomisesta nauhalla. Ensimmäisenä mallinnettiin teroituksen muoto SolidWorksissa, toisena tehtiin koneistusohjelma Mastercamissa ja lopuksi itse koneistus NC-koneella.

Aina koneistuksen jälkeen huomattiin, mihin suuntaan terän muotoa ja koneistusrataa piti kehittää. Haasteena oli osaamisen puute Mastercamissa, jolla luodaan työstöratoja NC-työstökoneille.

Ilmeteltiin koneen tärinää koneistuksen aikana ja NC-ohjelmien pituuksia. Tarkkailemalla huomattiin, että Mastercamin tekemissä työstöradoissa kaaret eivät olleet ympyräkääreinä vaan paljon suoria viivoja. Sen huomaa Mastercamissa työstöratoja zoomaamalla sekä NC-ohjelmassa. Tähän ongelmaan ei valitettavasti ratkaisua saatu kokeilun aikana.

Terien teroitus on onnistunut NC-koneella. Terien toimivuus on tarkistettu käytännössä karsimalla oksia metsässä.

Koneistusohjelman luomisessa on ollut haasteita osaamisen puutteen vuoksi. Päätettiin luopua Mastercamista ja seuraava askel olisi työstöratojen tekeminen C-kieltä apuna käyttäen. Tämä opinnäytetyö sekä suoritettut kokeilut ovat edistäneet tuotekehitystä.

Lähteet

1. Pystykarsinta lisää oksatonta tyvitukkia. Viitattu 13.4.2019
<https://www.storaensometsa.fi/pystykarsinta/>
- 2 Pystykarsintaopas ja FALCO Karsija 30 – pystykarsintalaitteen käyttöohjeet
- 3 Ansaharju, T, Ilomäki, O, Maaranen, K. Lastuava työstö. WSOY Porvoo 1996 ISBN 951-0-15342-7
- 4 Pikkarainen, E. Numeerisesti ohjatut työstökoneet. Helsinki: Opetushallitus 2010. ISBN 978-952-13-4590-6
- 5 Maaranen, K. Koneistustekniikat. WSOY Porvoo 2004 ISBN 951-0-27156-x
- 6 HAAS TM-1P Pystykarainen työstökeskus. Hinnasto ja tekninen erittely. Verkko-dokumentti. Grönlom. Viitattu 8.10.2015
<http://www.gronblom.fi/wp-content/uploads/2014/04/HAAS-TM-1P.pdf>
- 7 Ruukki. n.d. Raex. Viitattu 24.9.2015
<http://www.ruukki.fi/Teras/Kuumavalssatut-terakset/Kulutusterakset/Raex-kulutusteras>

- 8 Ruukki, Koneistus Viitattu 24.9.2015

<http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Kuumavalssatut%20-%20ka-sittelyohjeet/Ruukki-Kuumavalssatut-terakset-Koneistus.pdf>
- 9 SolidWorksin kotisivut. Viitattu 13.4.2019 www.solidworks.fi
- 10 Hietikko, E. SolidWorks Tietokoneavusteinen suunnittelu 2012
- 11 Koivisto, K, Laitinen, E, Niilimäki, M, Tiainen, T, Tiilikka, P, Tuomikoski, J. Kone-tekniikan materiaalioppi. Edita Helsinki 2008 ISBN 978-951-37-5259-0
- 12 CoroMill 300, Kevytleikkuiset taso- ja muotojyrsimet, sandvik kotisivut.
https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/products/coromill_300/pages/default.aspx?Country=fi
- 13 Hyttinen, T. Puukko Käsikirja. Gummerus Kirjapaino Oy Jyväskylä 1999

ISBN 951-98371-0-8

Liitteet

% 090903 (FALCO30 VASTATERAN JIGI 2.9.09 12.23) N100 T2 M6 (KESKOIPORATAAN, KP3.25) N110 G54 S1200 F280. M3 N120 G0 G43 X-43. Y138. Z25. H2 N130 M8 N140 G99 G81 Z-5. R25. F280.	N1160 Y-34.001 N1170 G0 Z23. N1180 X-38. Y-58.461 N1190 Z5 N1200 G1 Z-2. F100. N1210 X-43. F140. N1220 G3 X-48. Y-63.461 I0. J-5. N1230 G1 Y-96.847 N1240 G3 X-35.973 Y-103.247 I12.027 J8.1 N1250 X-27.648 Y-100.619 I0. J14.5 N1260 G2 X-13.702 Y-58.655 I76.966 J-2.279 N1270 X-24.24 Y-45.09 I3.462 J13.565 N1280 X-24.072 Y-42.927 I14. J0. N1290 G3 X-24. Y-42. I-5.928 J.927 N1300 X-28.394 Y-36.219 I-6. J0. N1310 G1 X-43.289 Y-32.082 N1320 G2 X-48. Y-30.076 I5.218 J18.784 N1330 G1 Y-63.461 N1340 G3 X-43. Y-68.461 I5. J0. N1350 G1 X-38. N1360 G0 Z25. (3 MUODON JYRSINTA JY14) N1370 X45.5 Y34.001 N1380 Z5. N1390 G1 Z-2. F100. N1400 Y47.437 F140. N1410 X35.033 Y36.87 N1420 X29.063 Y38.628 N1430 G2 X26.502 Y41.874 I.937 J3.372 N1440 G1 X45.5 Y60.872 N1450 Y74.307 N1460 X24.531 Y53.338 N1470 G3 X17.61 Y59.853 I-14.291 J-8.248 N1480 G1 X45.5 Y87.743 N1490 Y96.044 N1500 G3 X42.881 Y98.56 I-9.527 J-7.297 N1510 G1 X27.764 Y83.442 N1520 G3 X30.096 Y99.209 I-77.082 J19.456 N1530 G0 Y99.21 Z23. N1540 X38. Y58.461 N1550 Z5. N1560 G1 Z-2. F100. N1570 X43. F140. N1580 G3 X48. Y63.461 I0. J5. N1590 G1 Y96.847 N1600 G3 X35.973 Y103.247 I-12.027 J-8.1 N1610 X27.648 Y100.619 I0. J14.5 N1620 G2 X13.702 Y58.655 I-76.966 J2.279 N1630 X24.24 Y45.09 I-3.462 J13.565 N1640 X24.072 Y42.927 I-14. J0. N1650 G3 X24. Y42. I5.928 J-9.27 N1660 X28.394 Y36.219 I-6. J0. N1670 G1 X43.289 Y32.082 N1680 G2 X48. Y30.076 I-5.218 J-18.784 N1690 G1 Y63.461 N1700 G3 X43. Y68.461 I-5. J0. N1710 G1 X38. N1720 G0 Z25. (4 MUODON JYRSINTA JY14) N1730 X-30.096 Y51.79 N1740 Z5. N1750 G1 Z-2. F100. N1760 G2 X-27.764 Y67.558 I79.414 J-3.689 F140. N1770 G1 X-42.881 Y52.44 N1780 G2 X-45.5 Y54.956 I6.908 J9.813 N1790 G1 Y63.257 N1800 X-17.61 Y91.147 N1810 G2 X-24.531 Y97.662 I7.37 J14.763 N1820 G1 X-45.5 Y76.693 N1830 Y90.128 N1840 X-26.502 Y109.126 N1850 G3 X-29.063 Y112.372 I-3.498 J-126 N1860 G1 X-35.033 Y114.03 N1870 X-45.5 Y103.563 N1880 Y116.999 N1890 G0 Z23. N1900 X-38. Y92.539 N1910 Z5. N1920 G1 Z-2. F100. N1930 X-43. F140. N1940 G3 X-48. Y87.539 I0. J-5. N1950 G1 Y54.153 N1960 G3 X-35.973 Y47.753 I12.027 J8.1 N1970 X-27.648 Y50.381 I0. J14.5 N1980 G2 X-13.702 Y92.345 I76.966 J-2.279 N1990 X-24.24 Y105.91 I3.462 J13.565 N2000 X-24.072 Y108.073 I14. J0. N2010 G3 X-24. Y109. I-5.928 J.927 N2020 X-28.394 Y114.781 I-6. J0. N2030 G1 X-43.289 Y118.918 N2040 G2 X-48. Y120.924 I5.218 J18.784 N2050 G1 Y87.539 N2060 G3 X-43. Y82.539 I5. J0. N2070 G1 X-38. N2080 G0 Z25. N2090 G28 Z50. M9 N2100 G49 M5 N2110 M01 (1 MUODON VIIMEISTELY JY8) N2120 T10 M6 N2130 G0 G90 G54 X49. Y-59.221 A0. S2400 M3 N2140 G43 H10 Z25. N2150 M8 N2160 Z5.	N2170 G1 Z-2. F100. N2180 G42 D10 X51.828 Y-56.392 F140. N2190 G3 X53. Y-53.564 I-2.828 J2.828 N2200 X52.55 Y-51.984 I-3. J0. N2210 X35.973 Y-42.753 I-16.577 J-10.269 N2220 X24.177 Y-46.725 I0. J-19.5 N2230 G1 X23.278 Y-47.408 N2240 X22.156 Y47.52 N2250 G3 X21.931 Y-47.769 I.025 J-249 N2260 G21.973 Y-47.908 I.25 J0. N2270 G1 X22.688 Y-48.974 N2280 X22.649 Y-50.256 N2290 G2 X-24.509 Y-115.693 I-71.967 J2.154 N2300 G3 X-27.785 Y-120.386 I1.723 J-4.693 N2310 X-26.774 Y-123.402 I4.999 J0. N2320 X31.131 Y-152.21 I57.905 J43.791 N2330 X50.813 Y-149.492 I0. J72.599 N2340 X53. Y-146.604 I-813 J2.888 N2350 G1 Y-53.564 N2360 G3 X49. Y-49.564 I-4. J0. N2370 G1 G40 X45. N2380 G0 Z25. (1 MUODON VIIMEISTELY SISALTA) N2390 X-14.086 Y-139.524 N2400 Z5. N2410 G1 Z-2. F100. N2420 G42 D10 X-14.447 Y-137.557 F140. N2430 G3 X-15.486 Y-135.787 I-2.951 J-542 N2440 G2 X-20.559 Y-125.008 I8.914 J10.779 N2450 X13.348 Y-112.771 I13.987 J0. N2460 G3 X3.779 Y-99.645 I-35.394 J63.917 N2470 G2 X10.24 Y-96.91 I6.461 J-6.265 N2480 X19.24 Y-105.91 I0. J-9. N2490 X19.132 Y-107.3 I-9. J0. N2500 G3 X19. Y-109. I10.868 J-1.7 N2510 X27.056 Y-119.599 I11. J0. N2520 G1 X41.951 Y-123.735 N2530 G2 X52.567 Y-137.702 I-3.88 J-13.967 N2540 X39.76 Y-152.099 I-14.496 J0. N2550 G3 X36.226 Y-156.072 I-4.66 J-3.973 N2560 X36.254 Y-156.538 I4. J0. N2570 G1 G40 X36.72 Y-160.511 N2580 G0 Z25. (2 MUODON VIIMEISTELY JY8) N2590 X-49. Y-91.779 N2600 Z5. N2610 G1 Z-2. F100. N2620 G42 D10 X-51.828 Y-94.608 F140. N2630 G3 X-53. Y-97.436 I2.828 J-2.828 N2640 X-52.55 Y-99.016 I3. J0. N2650 X-35.973 Y-108.247 I16.577 J10.269 N2660 X-24.177 Y-104.275 I0. J19.5 N2670 G1 X-23.278 Y-103.592 N2680 X-22.156 Y-103.48 N2690 G3 X-21.931 Y-103.231 I-0.25 J.249 N2700 X-21.973 Y-103.092 I-25 J0. N2710 G1 X-22.688 Y-102.026 N2720 X-22.649 Y-100.744 N2730 G2 X24.509 Y-35.307 I71.967 J-2.154 N2740 G3 X27.785 Y-30.614 I-1.723 J4.693 N2750 X26.774 Y-27.598 I4.999 J0. N2760 X-31.131 Y11.447 Y-137.557 F140. N2770 X-50.813 Y-1.508 I0. J-72.599 N2780 X-53. Y-4.396 I.813 J-2.888 N2790 G1 Y-97.436 N2800 G3 X-49. Y-101.436 I4. J0. N2810 G1 G40 X-45. N2820 G0 Z25. (2 MUODON VIIMEISTELY SISALTA) N2830 X14.086 Y-11.476 N2840 Z5. N2850 G1 Z-2. F100. N2860 G42 D10 X14.447 Y-13.443 F140. N2870 G3 X15.486 Y-15.213 I2.951 J.542 N2880 G2 X20.559 Y-25.992 I-8.914 J-10.779 N2890 X13.348 Y-38.229 I-13.987 J0. N2900 G3 X-3.779 Y-51.355 I35.394 J-63.917 N2910 G2 X-10.24 Y-54.09 I-6.461 J6.265 N2920 X-19.24 Y-45.09 I0. J9. N2930 X-19.132 Y-43.7 I9. J0. N2940 G3 X-19. Y42. I-10.868 J1.7 N2950 X-27.056 Y131.401 I-11. J0. N2960 G1 X-41.951 Y-27.265 N2970 G2 X-52.567 Y-13.298 I3.88 J13.967 N2980 X-39.76 Y1.099 I14.496 J0. N2990 G3 X-37.927 Y2.021 I-35 J2.98 N3000 G1 G40 X-36.555 Y3.476 N3010 G0 Z25. (3 MUODON VIIMEISTELY JY8) N3020 X49. Y91.779 N3030 Z5. N3040 G1 Z-2. F100. N3050 G42 D10 X51.828 Y94.608 F140. N3060 G3 X53. Y97.436 I-2.828 J2.828 N3070 X52.55 Y99.016 I-3. J0. N3080 X35.973 Y108.247 I-16.577 J-10.269 N3090 X24.177 Y104.275 I0. J-19.5 N3100 G1 X23.278 Y103.592 N3110 X22.156 Y103.48	N3120 G3 X21.931 Y103.231 I.025 J-249 N3130 X21.973 Y103.092 I.25 J0. N3140 G1 X22.688 Y102.026 N3150 X22.649 Y100.744 N3160 G2 X-24.509 Y35.307 I-71.967 J2.154 N3170 G3 X-27.785 Y30.614 I1.723 J-4.693 N3180 X-26.774 Y27.598 I4.999 J0. N3190 X31.131 Y-1.21 I57.905 J43.791 N3200 X50.813 Y1.508 I0. J72.599 N3210 X53. Y4.396 I-813 J2.888 N3220 G1 Y97.436 N3230 G3 X49. Y101.436 I-4. J0. N3240 G1 G40 X45. N3250 G0 Z25. (3 MUODON VIIMEISTELY SISALTA) N3260 X-14.086 Y11.476 N3270 Z5. N3280 G1 Z-2. F100. N3290 G42 D10 X-14.447 Y13.443 F140. N3300 G3 X-15.486 Y15.213 I-2.951 J-542 N3310 G2 X-20.559 Y25.992 I8.914 J10.779 N3320 X-13.348 Y38.229 I13.987 J0. N3330 G3 X3.779 Y51.355 I-35.394 J63.917 N3340 G2 X10.24 Y54.09 I6.461 J-6.265 N3350 X19.24 Y45.09 I0. J-9. N3360 X19.132 Y43.7 I-9. J0. N3370 G3 X19. Y42. I10.868 J-1.7 N3380 X27.056 Y31.401 I11. J0. N3390 G1 X41.951 Y27.265 N3400 G2 X52.567 Y13.298 I-3.88 J-13.967 N3410 X39.76 Y-1.099 I-14.496 J0. N3420 G3 X37.927 Y-2.021 I35 J-2.98 N3430 G1 G40 X36.555 Y-3.476 N3440 G0 Z25. (4 MUODON VIIMEISTELY JY8) N3450 X-49. Y59.221 N3460 Z5. N3470 G1 Z-2. F100. N3480 G42 D10 X-51.828 Y56.392 F140. N3490 G3 X-53. Y53.564 I2.828 J-2.828 N3500 X-52.55 Y51.984 I3. J0. N3510 X-35.973 Y42.753 I16.577 J10.269 N3520 X-24.177 Y46.725 I0. J19.5 N3530 G1 X-23.278 Y47.408 N3540 X-22.156 Y47.52 N3550 G3 X-21.931 Y47.769 I-0.25 J.249 N3560 X-21.973 Y47.908 I-25 J0. N3570 G1 X-22.688 Y48.974 N3580 X-22.649 Y50.256 N3590 G2 X24.509 Y115.693 I71.967 J-2.154 N3600 G3 X27.785 Y120.386 I-1.723 J4.693 N3610 X26.774 Y123.402 I-4.999 J0. N3620 X-31.131 Y152.21 I-57.905 J-43.791 N3630 X-50.813 Y149.492 I0. J-72.599 N3640 X-53. Y146.604 I.813 J-2.888 N3650 G1 Y53.564 N3660 G3 X-49. Y49.564 I4. J0. N3670 G1 G40 X-45. N3680 G0 Z25. (4 MUODON VIIMEISTELY SISALTA) N3690 X14.086 Y139.524 N3700 Z5. N3710 G1 Z-2. F100. N3720 G42 D10 X14.447 Y137.557 F140. N3730 G3 X-15.486 Y135.787 I2.951 J.542 N3740 G2 X20.559 Y125.008 I-8.914 J-10.779 N3750 X13.348 Y112.771 I-13.987 J0. N3760 G3 X-3.779 Y99.645 I35.394 J-63.917 N3770 G2 X-10.24 Y96.91 I-6.461 J6.265 N3780 X-19.24 Y105.91 I0. J9. N3790 X-19.132 Y107.3 I9. J0. N3800 G3 X-19. Y109. I-10.868 J1.7 N3810 X-27.056 Y119.599 I-11. J0. N3820 G1 X-41.951 Y123.735 N3830 G2 X-52.567 Y137.702 I3.88 J13.967 N3840 X-39.76 Y152.099 I14.496 J0. N3850 G3 X-37.927 Y153.021 I-35 J2.98 N3860 G1 G40 X-36.555 Y154.476 N3870 G0 Z25. N3880 G28 Z50. M9 N3890 G49 M5 (14 REIKIEN KOORDINAATTIT) N3899 X-30. Y109. N3900 X30. Y42. N3900 X30. Y-109. (M8 REIKIEN KOORDINAATTIT) N489 X-43. Y138. N490 X38. Y118. N500 X0. Y75.5 N510 X-38. Y33. N520 X43. Y13. N530 X-43. Y-13. N540 X38. Y-33. N550 X0. Y-75.5 N560 X-38. Y-118. N570 X43. Y-138. N3900 M30 %
---	---	---	--