

5-akselisen NC-jyrsimen käyttöön perehdyttävän laboratoriotyön suunnittelu

Opinnäytetyö

Konetekniikan opinnäytetyö
Konetekniikan koulutus, Insinööri (AMK)
Kevät, 2024
Miika Pusa

Konetekniikan koulutus

Tekijä Miika Pusa

Työn nimi 5-akselisen NC-jyrsimen käyttöön perehdyttävän laboratoriotyön suunnittelu

Ohjaaja Tapio Väisänen

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Hämeen ammattikorkeakoulu hankki Riihimäen kampukselle 3 kappaletta 5-akselisia Pocket NC-työstökoneita. Koneiden ohjelmointi ja niiden käyttö oli tarkoitus integroida mukaan konetekniikan opetukseen. Tämän opinnäytetyön pääasiallinen tavoite oli tuottaa opetuksessa käytettävä laboratoriotyö, jossa hyödynnetään kyseisiä koneita.

Opinnäytetyössä tutustuttiin muutamiin metallin työstömenetelmiin ja koneisiin. Tarkoituksena oli syventyä NC-tekniikkaan niin, että harjoitustyö oli mahdollista suunnitella ja toteuttaa. Työssä hyödynnettiin myös vahvasti CAM- ja CAD-ohjelmia, NC-koneissa käytettävää G-koodia, sekä yleistä koneistuksen tuntemusta.

Opinnäytetyössä perehdyttiin koneistukseen ja erilaisten jyrsinkoneiden historiaan, rakenteeseen sekä toimintaan. Työssä keskityttiin suurimmilta osin NC-ohjattuihin koneisiin ja niiden ohjelmointiin, jotta hankittua tietoa voitiin hyödyntää laboratoriotyön suunnittelussa. Pocket NC-työstökoneilla valmistettiin monia harjoituskappaleita ja niiden käyttöä harjoiteltiin runsaasti ennen varsinaisen laboratoriotyön suunnittelua. Koneiden käytön hyvä tuntemus oli välttämätöntä sopivan laboratoriotyön suunnitteluun.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi kaksi valmista laboratoriotyötä, sekä monia malleja, joita voidaan jatkossa hyödyntää opetuksessa. Opinnäytetyötä tehdessä laadittiin myös kolme kappaletta ohjekirjoja Pocket NC koneen käyttöön liittyen.

Avainsanat NC-ohjelmointi, koneistus, jyrsintä, CAM

Sivut 38 sivua ja liitteitä 18 sivua

Mechanical engineering

Author Miika Pusa

Subject Introduction to 5-axis NC-milling programming laboratory exercise

Supervisors Tapio Väisänen

Abstract

Year 2024

Häme University of Applied Sciences has acquired three 5-axis Pocket NC milling machines to its Riihimäki campus. The programming and operation of these machines are intended to be integrated into the mechanical engineering curriculum. The primary objective of this thesis is to develop a practical exercise that utilizes these machines to be used in teaching.

The thesis explores some metal machining methods and machines. The main purpose is to delve into the NC-technology so well that it is possible to design and execute a practical exercise. The work relies on CAM- and CAD software, G-code used in NC machines, as well as a general understanding of machining processes.

In this thesis, machining and the history, structure and operation of various milling machines were explored. The emphasis was mainly on NC-controlled machines and their programming, allowing the acquired knowledge to be used in the planning of a laboratory exercise. Numerous practice pieces were produced using the Pocket NC milling machines and their operation was extensively practiced before the actual planning of the laboratory exercise. A thorough understanding of machine operation was essential to design a suitable laboratory exercise.

The result of this thesis was the creation of two completed laboratory exercises, as well as many models that can be utilized in future teaching. While working on the thesis, three instruction manuals were also compiled on the use of the Pocket Nc machines.

Keywords NC-programming, machining, milling, CAM

Pages 38 pages and appendices 18 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Koneistus	1
3	Jyrsintä	2
3.1	Yleisjyrsinkoneen rakenne	3
3.2	NC-jyrsinkoneen rakenne.....	4
3.3	Syöttö ja karan pyörimisnopeus	5
4	NC-tekniikka	6
4.1	Historia	6
4.2	NC-koneen tehtävien ohjaus.....	7
4.2.1	Liikkeiden eri ohjaustyytit.....	7
4.2.2	Interpolointi.....	8
4.2.3	3-akselinen ohjaus.....	9
4.2.4	5-akselinen ohjaus.....	9
5	Ohjelmointitavat	10
5.1	Manuaalinen ohjelmointi	11
5.2	Vuorovaikutteinen ohjelmointi ”konepajaohjelmointi”	11
5.3	CAM-ohjelmointi.....	11
5.4	Ohjelman rakenne.....	12
6	Laboratoriotyö	14
6.1	Penta Machine Co.	14
6.1.1	Pocket NC V2-50CHK	14
6.1.2	Post-prosessointi	15
6.1.3	Työkalut.....	16
6.2	Ohjelmistot.....	16
6.2.1	Mastercam.....	16
6.2.2	Pocket NC Simulator	16
6.2.3	Kinetic Control	17
6.3	Laboratoriotyön vaatimukset	18
6.4	Laboratoriotyön suunnittelu	18
6.4.1	Työkalukirjasto	19
6.4.2	5-akseliset työstöradat.....	20
6.4.3	Harjoituskappale 1.....	21
6.4.4	Harjoituskappale 2.....	23
6.4.5	Johtopäätökset harjoituskappaleista.....	25

7	Laboratoriotyöt.....	26
7.1	Laboratoriotyö 1.....	26
7.2	Laboratoriotyö 2.....	32
8	Yhteenveto.....	36
	Lähteet	38

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Teollinen metallintyöstöprosessi jyrsinterällä. (Valmistajat.fi, n.d.)	2
Kuva 2. Jyrsinkone F50I. (Oy Torafors ab, n.d.).....	3
Kuva 3. 5-akselinen NC-työstökone. (MillsCNC, n.d.)	5
Kuva 4. Polynominen interpolointi. (Engineering at alberta, n.d.)	8
Kuva 5. 3-akselinen ohjaus. (Marti Deans, 8.4.2021)	9
Kuva 6. 5-akselisen työstökoneen akselien nimet ja suunnat. Vasemmalla pystykarainen ja oikealla vaakakarainen koneistuskeskus. (IQSdirectory.com, n.d.)	10
Kuva 7. Pocket NC V2-50CHK.....	15
Kuva 8. Pocket NC simulator.	17
Kuva 9. Kinetic Control eli kineettinen ohjaus.	18
Kuva 10. Työkalun luominen Mastercamiin.....	19
Kuva 11. Työkalukirjasto.....	20
Kuva 12. Moniakselit työstöradat.	21
Kuva 13. Harjoituskappaleen 1 työstöradat Mastercamissa.	22
Kuva 14. Konesimulaatio.	23

Kuva 15. Harjoituskappaleen 2 työstöradat Mastercamissa.	24
Kuva 16. Harjoituskappale 2 työstettynä.	25
Kuva 17. Laboratoriotyö mallinnettuna.	27
Kuva 18. Laboratoriotyö 1 rouhinnat.	28
Kuva 19. Laboratoriotyö 1 viimeistelyt.	29
Kuva 20. Laboratoriotyö 1 3D-viivat.	30
Kuva 21. Laboratoriotyö 1 simulointi.	31
Kuva 22. Laboratoriotyö 1 koneistettuna.	32
Kuva 23. Laboratoriotyö 2 mallinnettuna.	33
Kuva 24. Laboratoriotyö 2 rouhinta.	34
Kuva 25. Laboratoriotyö 2 viimeistely.	35
Kuva 26. Laboratoriotyö 2 koneistettuna.	36

Liitteet

Liite 1.	Laboratoriotyö 1
Liite 2.	Laboratoriotyö 2
Liite 3.	Pocket NC machine simulation Mastercam
Liite 4.	Pocket NC nollapisteen asetus
Liite 5.	Pocket NC simulator ohjeet

1 Johdanto

Hämeen ammattikorkeakoulun Riihimäen kampuksen konelaboratorio on hankkinut käyttöönsä 3 kappaletta Pocket NC V2-50CHK 5-akselisia NC-jyrsinkoneita. Jyrsimet soveltuvat hyvin opetuskäyttöön ja niitä tahdotaankin hyödyntää opetuksessa mahdollisimman pian. Uusille koneille tarvitaan laboratoriotyö, jotta koneet saadaan mukaan opetukseen. Ennen laboratoriotyön suunnittelua tulee opetella koneiden käyttö, sekä Mastercam ohjelmistolla moniakselisten työstöratojen laatiminen. Tuotetun laboratoriotyön tavoitteena on antaa työn tekijälle perehdytys 5-akselisen NC-jyrsimen käyttöön, sekä moniakselisten työstöratojen laatimiseen.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan jyrsinnän perusteita, sekä jyrsintää koneistusmuotona. Tutustuminen jyrsintään aloitetaan manuaalijyrsinnästä, josta siirrytään NC-ohjattuun jyrsintään. Tämä luo käsityksen ymmärtää miten 5-akselinen NC-jyrsin eroaa perinteisimmistä työstökoneista ja minkälaisia etuja se tarjoaa monimutkaisempien osien valmistuksessa. Työssä syvennyttään myös NC-tekniikan historiaan ja kehitykseen, sekä NC-ohjelmoinnin periaatteisiin.

2 Koneistus

Koneistuksen pääasiallinen tarkoitus on poistaa työkappaleesta materiaalia ja muokata se halutun muotoiseksi. Koneistuksessa yleisimmin käytettävät materiaalit ovat teräs, alumiini ja muovi. Nykyaikana suurin osa työstökoneista on NC-ohjattuja ja koneistajan työnkuvaan kuuluukin usein koneiden ohjelmointi. (Koneistajaksi.fi, n.d.)

Nykyaikaisen konepajan keskeisin osa-alue on erilaiset koneistustyöt. NC-koneiden yleistyessä tehokkuus on kasvanut huomattavasti, koneen käyttäjien valvoessa montaa eri konetta samanaikaisesti. Manuaalisten koneiden käyttö on vähentynyt huomattavasti, mutta niillekin on vielä omat käyttötarkoituksensa. Manuaalisia koneita käytetään vielä tänä päivänä erilaisissa korjauspajoissa ja töissä, jotka eivät vaadi sarjavalmistusta. (Maaranen, 2004, s.10)

3 Jyrsintä

Jyrsintä on yksi tunnetuimpia metallin työstömenetelmiä. Jyrsimessä lastuamisen suorittaa pyörivä työkalu eli jyrsinterä ja työkappale kiinnitetään jyrsinkoneeseen. Koneessa on pöytä, johon työkappale voidaan tukevasti kiinnittää ja se suorittaa varsinaisen syöttöliikkeen. Kuvassa 1 nähdään tappijyrsin lastuamassa jyrsinkoneeseen kiinnitettyä aihiota. (Maaranen, 2004, s. 173)

Jyrsinkoneet sopivat erinomaisen hyvin tasomaisten kappaleiden valmistukseen ja pintojen tarkkaan tasaamiseen. Tavallisen jyrsinkoneen toimintaan kuuluu urien, olakkeiden, käyrien pintojen ja hammaspyörien koneistus. Nykyään kuitenkin työstöakselien määrän lisääntyessä, niillä on mahdollista tehdä myös monimutkaisia kolmiulotteisia muotoja. (Keinänen & Kärkkäinen, 2010, s.163)

Kuva 1. Teollinen metallintyöstöprosessi jyrsinterällä. (Valmistajat.fi, n.d.)



3.1 Yleisjyrsinkoneen rakenne

Tavalliseen yleisjyrsinkoneen rakenteeseen kuuluu runko, pääkara, vaihteisto, polvi, pöytä, syöttövaihteisto ja mittalaitteet. Jyrsinkoneen perusosa on runko, joka on tavallisesti valuraudasta valettu kotelomainen rakenne, johon jyrsimen koneisto rakentuu.

Yleisjyrsinkoneissa pääkara ja karan pyörimisnopeuden vaihteisto löytyy rungon yläosasta kotelon sisältä. Kuvasta 2 voidaan nähdä yleisjyrsinkoneen rakenne käytännössä. (Heinonen & Kalliolahti, 2020, s. 65)

Polvi on koneessa rungon pystyjohteilla liikkuva kokonaisuus, joka voidaan jakaa seuraaviin osiin: koneen ohjaus- ja käyttölaitteet, syöttövaihteisto, pystykelkka, poikittaiskelkka ja pöytä. Kelkat, sekä pöytä ovat vastuussa siitä, että jyrsittävälle kappaleelle saadaan aikaan asetus- ja syöttöliikkeet. (Heinonen & Kalliolahti, 2020, s. 65)

Yleisjyrsinkoneen asetus- ja syöttöliikkeiden tarkan mittauksen mahdollistaa mittarummut, jotka löytyvät pöydän pysty- poikittais- ja pitkittäisliikkeiden käsikammoista ja käsipyöristä. Nykyaikaisten jyrsinkoneiden varustukseen kuuluvat digitaaliset näyttölaitteet, joiden lukematarakkuus on tarkempi. Näitä digitaalisia näyttölaitteita voidaan lisätä myös jälkeempään vanhempiin jyrsinkoneisiin. (Heinonen & Kalliolahti, 2020, s. 65)

Kuva 2. Jyrsinkone F50I. (Oy Torafors ab, n.d.)



3.2 NC-jyrsinkoneen rakenne

NC-jyrsimen ja manuaalisen yleisjyrsimen rakenteelliset erot eivät ole suuria. NC-jyrsimen rakenne koostuu samoista osista kuin manuaalisen yleisjyrsinkoneenkin, mutta se on usein koteloitu käyttäjän turvallisuuden lisäämiseksi ja koska sitä ei ole tarvetta ohjata kesken työstön. NC-jyrsinkone on esitetty kuvassa 3. NC-ohjatun ja manuaalisen työstökoneen erot eivät ole rakenteellisen toiminnan ja lastuamisen kannalta suuria. Yhtenä erona voidaan nähdä työkalutekniikan kehitys niin, että NC-ohjausta voidaan tehokkaammin käyttää hyödyksi. (Vesamäki, 2014, s.10)

Todellinen ero huomataan koneiden ohjaustavassa: manuaalisessa koneessa laitetta ohjaa käyttäjä, kun taas NC-ohjatun laitteen ohjauksesta on vastuussa ohjausyksikkö. NC-ohjattujen koneiden ohjausyksikkö huolehtii kaikista työstöön liittyvistä toimenpiteistä, aina karan käynnistämisestä työkalun vaihtoon. Ohjausyksikkö tarvitsee kuitenkin toimiakseen ohjelman, jonka mukaan se ajaa työstökoneetta. Ohjelman täytyy sisältää kaikki tarvittava tieto, jotta kone osaa suorittaa tarvittavat toiminnot tietyn kappaleen valmistuksessa. (Vesamäki, 2014, s.10)

NC-työstökoneelle ohjelmaa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon kaikki kappaleen valmistukseen liittyvät vaiheet: tarvittavat työkalut, työkalujen liikeradat, pyörimisnopeudet, työstösyvytydet ja muut vaadittavat toiminnot. (Vesamäki, 2014, s.10)

Kun ohjelma on valmis, se voidaan simuloida ja tarkastaa, jonka jälkeen se voidaan syöttää työstökoneen ohjausyksikön muistiin. Ohjelmaan syötettyjen tietojen perusteella ohjausyksikkö antaa käskyjä työstökoneen toimilaitteille, jonka seurauksena kone valmistaa suunnitellun kappaleen. (Vesamäki, 2014, s.10)

Kuva 3. 5-akselinen NC-työstökone. (MillsCNC, n.d.)



3.3 Syöttö ja karan pyörimisnopeus

Kappaletta ja kappaleen työstöratoja suunniteltaessa tietylle koneelle tulee ottaa huomioon kappaleen koko, muoto ja materiaali. Materiaalin tuntemus on erittäin tärkeää niin manuaalisessa, kuin NC-koneistuksessa. Materiaalin kovuus yhdessä kappaleen muotojen ja käytettävien työkalujen kanssa määrittää minkälaisia syöttöarvoja ja karan pyörimisnopeuksia tulee käyttää materiaalia työstettäessä. (Smid, 2008, s.31)

Koneistuksessa yksi tärkeimmistä materiaalin ominaisuuksista on sen koneistettavuus. Monilta työkaluvalmistajilta saa valmiita karttoja, jotka kertovat suositeltavat työstöarvot käytettävän työkalun ja materiaalin mukaan. Näistä kartoista saatavat työstöarvot ovat yleensä hyvät aloitusarvot. Näitä arvoja voidaan vielä tarkemmin optimoida, kun materiaalin koneistettavuus tunnetaan paremmin. Kun tiedetään lastuamis- tai karan pyörimisnopeudelle arvo, voidaan toinen laskea alla olevan kaavan mukaan. (Smid, 2008, s.37)

$$V = \frac{\pi * D * n}{1000}$$

V = Lastuamisnopeus (m/min)

D = Terän halkaisija (mm)

n = Karanopeus (r/min)

4 NC-tekniikka

Manuaalikoneistuksessa koneen operaattori ohjaa työstökoneetta jatkuvasti käsin.

Työstettävä kappale paikoitetaan käsipyörillä, kara käynnistetään vivusta ja samalla tavalla kytketään päälle syöttöliike. CNC (computer numerical control) tai nykyisin NC (numerical control) tarkoittaa numeerista tietokoneella ohjaamista. Työstökoneet voidaan valmistaa niin, että ne sisältävät oman ohjausyksikön, joka pystyy lukemaan G-koodia ja toimimaan sen mukaan. (Heinonen & Kalliolahti, 2020, s. 86)

4.1 Historia

NC-koneiden kehitystyötä on tehty jo pitkään aina 1940- luvulta lähtien. Ensimmäisten kaupalliseen käyttöön tulleiden koneiden ohjaus toteutettiin reikäkorteilla tai -nauhoilla. Varsinaisten tietokoneella ohjattavien NC-koneiden yleistyminen tapahtui kuitenkin vasta 1960- luvun loppupuolella. (Heinonen & Kalliolahti, 2020, s. 87)

Suurena kehitysaskeleena NC-koneistukselle nähtiin CAM/CAD ohjelmien yleistyminen ja niiden hyödyntäminen NC-koneissa. CAM-ohjelmoinnin ansiosta oli mahdollista tehdä työstöratoja tietokoneavusteisesti, eikä kirjoittaa G-koodia tekstimuodossa. (Heinonen & Kalliolahti, 2020, s. 87)

Tästä eteenpäin aina nykypäivään saakka NC-tekniikan kehitys on sisältänyt sovellusten, sekä laitteiden monipuolistumista. Nykyaikaisten ohjausjärjestelmien avulla voidaan jopa yhdistellä työstökoneita ja robotteja yhdessä työskenteleviksi soluiksi. Nykyään NC-koneisiin on saatu lisättyä enemmän akseleita eli liikesuuntia. Tämä, sekä CAD-ohjelmien nopea kehitys mahdollistaa entistä monimutkaisempien osien sarjavalmistuksen yhä nopeammin ja tehokkaammin. (Heinonen & Kalliolahti, 2020, s. 87)

4.2 NC-koneen tehtävien ohjaus

NC-työstökoneen tehtäviä ohjaa ohjausyksikkö, jolle tieto täytyy ensin toimittaa. Tieto voidaan siirtää ohjausyksikölle esimerkiksi USB-tikulta tai mahdollisesti kaapeliliitännällä suoraan PC:ltä. Nykyään on myös mahdollista liittää ohjausyksiköt suoraan tietokoneverkkoon, edellyttäen ohjausyksiköltä verkkokorttia. (Vesämäki, 2014, s. 22–23)

Ohjausyksikössä on oma muisti, johon ohjelma voidaan tallentaa ja jossa se käsittelee tietoa yksi ohjelmarivi kerrallaan. Ohjelma koostuu monista ohjelmariveistä eli lauseista. Ohjelman sisältämä tieto voidaan jakaa kahteen osaan: liikekäskyt ja kytkentätiedot. Liikekäskyt määrittävät terän liikkeet X-, Y-, ja Z-akseleilla ja koneesta riippuen miten se kääntyy tai pyörii. Kytchentätiedot ohjaavat koneen eri toimintoja, kuten työkalun vaihtoa tai jäähdytysjärjestelmän käynnistämistä. (Vesämäki, 2014, s. 22–23)

4.2.1 Liikkeiden eri ohjaustyyppit

NC-ohjauksessa käytettävät ohjaustyyppit, joilla hallitaan työstökoneen liikettä ja toimintaa voidaan jakaa kolmeen erilaiseen ohjaustyyppiin. Käytettävät ohjaustyyppit ovat pisteohjaus, janaohjaus ja rataohjaus. (Vesämäki, 2014, s. 23–24)

Pisteohjaus on yksinkertaisin ohjaustyyppi. Perusideana on liikkua pikaliikkeellä pisteestä toiseen, jossa kukin piste edustaa yksittäistä kohdetta johon työkalu on suunnattu. Esimerkkinä pistehitsauskone, jossa työstö voidaan suorittaa pisteessä, kun siirtoliikkeitä ei tapahdu. Jos liikutetaan kahden akselin yhtäaikaista liikkeenä, liikettä akseleihin nähden ei kontrolloida mitenkään ja on mahdollista, että päätepiste saavutetaan eri aikaan kummallakin akselilla. (Vesämäki, 2014, s. 23–24)

Janaohjauksessa voidaan liikkua yhden akselin suuntaisesti syöttöliikkeellä. NC-ohjelmaan määritellään alkupiste ja loppupiste ja kone liikuttaa työkalua näiden pisteiden välillä suorinta reittiä. Useimmiten käytetään tehtävissä, joissa tarvitaan suoria leikkauksia tai liikkeitä. (Vesämäki, 2014, s. 23–24)

Rataohjaus tarjoaa suurimman joustavuuden monimutkaisissa tehtävissä ja se onkin nykyään yleisin ohjaustyyppi. Liikerata voi olla suoraviivainen, ympyränkaari, paraabeli tai jopa ellipsi ja se voi liikkua ohjelmoitua rataa pitkin kahden ja myös joissakin tapauksissa

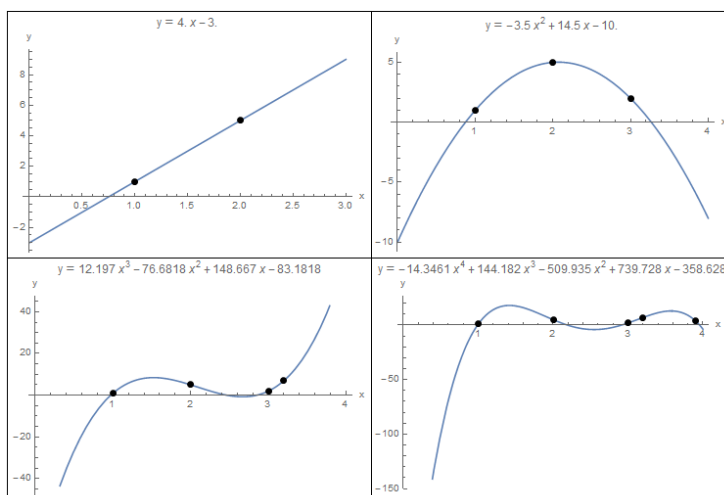
kolmen akselin suuntaisesti. Siinä tarkoituksena on ohjata koneen työkalua tiettyä reittiä, usein osana monimutkaisempaa muotoa. (Vesamäki, 2014, ss. 23–24)

Rataohjauksista puhuttaessa käytetään yleensä nimityksiä ohjattavien akselien lukumäärän perusteella. Käytössä olevia akseleita voi olla 2,3,4,5 tai enemmän. 3-akselisesta ohjauksesta puhuttaessa tarkoitetaan mahdollisuutta liikkua X-, Y-, ja Z-akseleiden suuntaan ja 4-akselisessa tulee näiden lisäksi koneeseen esimerkiksi pyörivä pöytä tai jokin muu lisäakseli. (Vesamäki, 2014, s. 23–24)

4.2.2 Interpolointi

Interpolointi on keskeinen käsite NC-koneiden rataohjauksessa sen mahdollistaessa koneiden liikkumisen monimutkaisia reittejä ja kaaria pitkin. Käytännössä interpolointi tarkoittaa sitä, miten kone saa luotua liikkeen eri pisteiden välille tai seuraa monimutkaisia ratoja, kun tiedossa on vain alku- ja loppupiste. Interpolointi tapahtuu pisteiden välillä joko lineaarisesti, ympyränkaarella tai parabolisesti. Tämä esitetään visuaalisesti kuvassa 4. Interpoloinnilla voidaan jakaa monimutkaisen muodon valmistus koneen eri akseleille siten, että kaikki yhtä aikaa liikkuvat akselit saavuttavat ohjelmoidun aseman samanaikaisesti. (Pikkarainen & Mustonen, 2010, s.81)

Kuva 4. Polynominen interpolointi. (Engineering at alberta, n.d.)

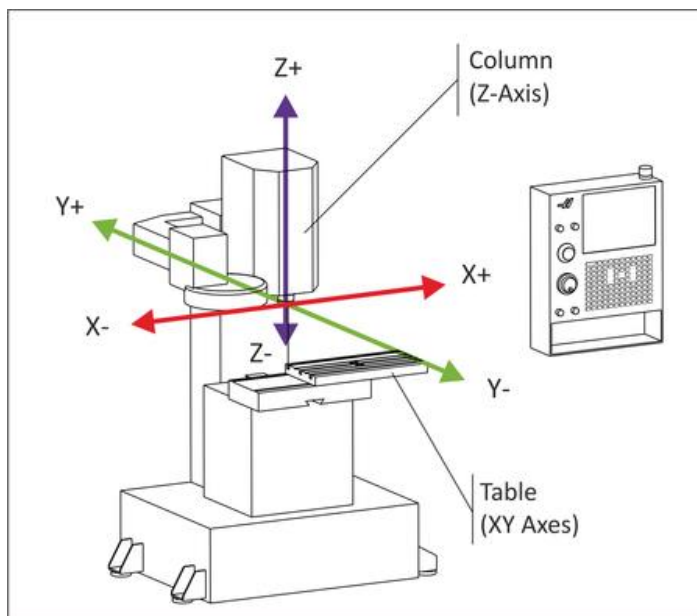


4.2.3 3-akselinen ohjaus

Yksinkertaisempia 2-akselisia ohjauksia löytyy sorveista ja polttoleikkauskoneista, joissa käytössä on yleisesti X-, ja Z-akselit. 3-akselinen ohjaus on kuitenkin NC-jyrsinnässä kaikista yksinkertaisin ja yleisin ohjaustyyppi. Työstettävä kappale kiinnitetään tukevasti yhteen paikkaan ja työstöön käytössä on X-, Y- ja Z-akselit. Usein jyrsinkoneissa työkappale on kiinnitetty pöytään, joka liikkuu X- ja Y-akseleiden suuntaan karan liikkuessa Z-akselin suuntaan, mutta variaatiota myös on. (CloudNc, 2020)

3-akselisia työstökoneita käytetään yleisesti kappaleiden valmistukseen, joiden piirteet ovat kohtisuorassa X-, Y- ja Z-akseleihin nähden, jolloin kappaleen kallistukselle työstettäessä ei ole tarvetta. 3-akselisen jyrsimen akselit on esitetty kuvassa 5. Jos valmistettavassa kappaleessa esiintyy geometrioita, joita on mahdoton valmistaa 3-akselisella koneella, vaaditaan työhön konetta, joka kykenee 4- tai 5-akseliseen työstöön. (CloudNc, 2020)

Kuva 5. 3-akselinen ohjaus. (Marti Deans, 8.4.2021)



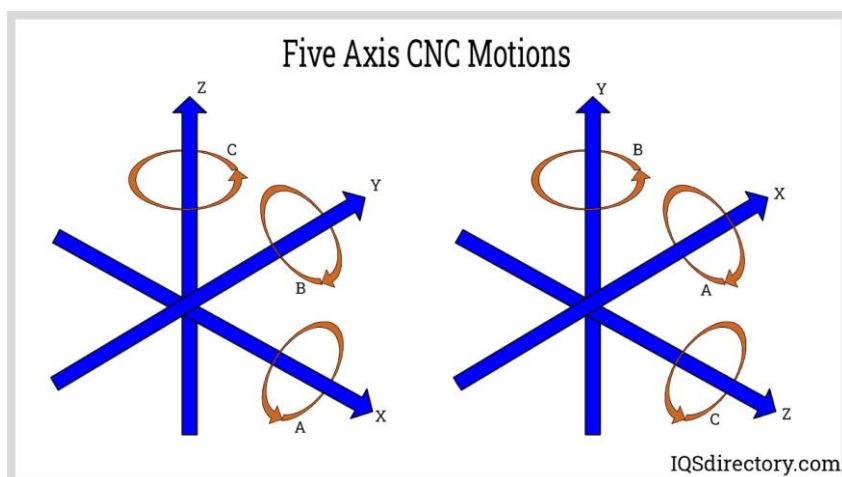
4.2.4 5-akselinen ohjaus

5-akseliset koneet käyttävät hyödykseen X-, Y- ja Z-akseleiden suuntaisten liikkeiden lisäksi kahta kolmesta mahdollisesta kiertyvästä akselista. Koneet hyödyntävät kiertoliikettä joko A- ja B-akselissa tai B- ja C-akselissa. Akselit on esitetty kuvassa 6. (CloudNc, 2020)

5-akseliset koneet voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään: 3+2 koneet ja täysin jatkuvatoimiset koneet. 3+2 akselisessa työstössä kaksi pyörimisakselia toimii riippumattomasti toisistaan, tarkoittaen, että työkappale voidaan kääntää mihin tahansa yhdistettyyn kulmaan niitä muotoja varten, jota halutaan työstää. Kahden akselin samanaikainen pyöriminen työstämisen aikana on kuitenkin mahdotonta. Jatkuvatoimisessa koneessa molemmat akselit voivat pyöriä samaan aikaan työstettäessä, samalla kun työkalu liikkuu XYZ-koordinaatistossa. (CloudNc, 2020)

5-akselinen työstö mahdollistaa erittäin monimutkaisten muotojen valmistuksen ja se mahdollistaa osien valmistuksen, joita oli ennen mahdollista valmistaa vain valamalla. (CloudNc, 2020)

Kuva 6. 5-akselisen työstökoneen akselien nimet ja suunnat. Vasemmalla pystykarainen ja oikealla vaakakarainen koneistuskeskus. (IQSdirectory.com, n.d.)



5 Ohjelmointitavat

Ohjelmoinnissa kappaleen geometria ja työstöarvot muutetaan piirustuksen tai 3D-mallin avulla NC-koneen ymmärtämään koodin muotoon. Koodi sisältää erilaisia käskyjä, jotka ohjaavat koneen liikettä ja toimintoja. NC-kone suorittaa ohjelmoidut liikkeet ja toiminnot automaattisesti kappaleen koneistamiseksi. Ohjelmointitavat voidaan jakaa kolmeen eri tyyliin: manuaalinen ohjelmointi, vuorovaikutteinen ohjelmointi (konepajaohjelmointi) ja tietokoneavusteinen ohjelmointi eli CAD/CAM-ohjelmistot. (Vesamäki, 2014, s.60)

5.1 Manuaalinen ohjelmointi

Manuaalisessa eli käsin suoritettavassa ohjelmoinnissa, koneelle valmistettava ohjelma kirjoitetaan suoraan muodossa, jota kone pystyy lukemaan eli koneen omalla koodikielellä. Vaikka nopeampia ja tehokkaampia ohjelmointitapoja on kehitetty, ei manuaalisen ohjelmoinnin tärkeyttä voi silti vähätellä, koska se on edelleen nopein ja tehokkain tapa korjata pieniä virheitä koodissa. Koneen koodikielen ymmärtäminen on koneen käyttäjälle erittäin tärkeä taito. (Vesamäki, 2014, s.62–63)

5.2 Vuorovaikutteinen ohjelmointi ”konepajaohjelmointi”

Vuorovaikutteinen ohjelmointi suoritetaan yhteistyössä työstökoneen kanssa. Ohjelmoinnissa hyödynnetään koneen ruudulla olevaa grafiikkaa, josta koneistajan on helpompi ymmärtää ja suunnitella työstöratat. Tämä on mahdollista koneen ohjaukseen rakennettujen ohjelmointiominaisuuksien ansiosta, joilla voidaan kuvata työstettävä kappale ja aihio, sekä valita käytettävät työkalut. Työstöratat ja terän liikettä voidaan simuloida ohjelmalla, jolloin voidaan tarkastella ohjelman toimivuutta. (Pikkarainen & Mustonen, 2010, s.108)

5.3 CAM-ohjelmointi

CAM-ohjelmointi suoritetaan tietokoneella ja siihen tarvitaan valmistettavan kappaleen CAD-malli. Suunniteltuun CAD-malliin tehdään työstöradat CAM-ohjelmalla. On olemassa kahdenlaisia järjestelmiä ja yritysten välisiä käytäntöjä. Joissakin tapauksissa CAD-malli tuotetaan yhdellä ohjelmistolla, josta se viedään CAM-ohjelmaan, jossa sille on mahdollista tehdä työstöradat. Toisessa tapauksessa on myös mahdollista tuottaa CAD-malli sekä työstöradat samalla ohjelmistolla, joka vähentää virheiden mahdollisuutta. Nykypäivänä CAD-ohjelmat entistä enemmän lisäävät ohjelmistoihinsa mahdollisuuksia käyttää CAM-työkaluja ja toisinpäin. (Pikkarainen & Mustonen, 2010, s.110)

CAM-ohjelmoinnin periaate on se, että kappaleen CAD-mallista saataviin geometrioihin nojaten valmistetaan ja simuloidaan työstöratoja, sekä työjärjestyksiä erilaisille työkaluille. Kun kappaleeseen tarvittavat työstövaiheet on suunniteltu ja simuloitu, niin ohjelmasta saadaan ulos dataa, jonka postproessori kääntää koneen luettavaan muotoon. (Pikkarainen & Mustonen, 2010, s.110)

5.4 Ohjelman rakenne

NC-koneiden ohjelmoinnissa käytettävä G-koodi (geometrinen ohjauskoodi) muodostuu numeerisista komentoriveistä, jotka määrittelevät työstökoneelle tarkat liikkeet ja toiminnot, joita sen on suoritettava. G-koodin rakenne voi hieman vaihdella eri koneiden ja valmistajien välillä, mutta yleensä se noudattaa tiettyjä standardeja. Koordinaattikoodien pysyessä samana koneesta riippumatta eniten eroa huomataan kytkevissä M-koodeissa. (Pikkarainen & Mustonen, 2010, s. 116–117)

Kuten aikaisemmin on todettu NC-ohjelman yhtä riviä, kutsutaan lauseeksi ja lauseessa sijaitsevaa yhtä koodia sanaksi.

NC-lauseen normaali lauserakenne kirjoitetaan seuraavasti:

N G X Y Z I J K Q R D H F S T M

NC-koodissa esiintyvien osoitteiden merkitys:

O – ohjelman numero

N – lausenumero

G – valmistelevat toiminnot, liikekäskyt

X, Y, Z – liikeakseleiden koordinaatit

A, B, C – lisäakseleiden liikekoordinaatit

U, V, W – lisäakseleiden liikekoordinaatit

R – ympyräkaaren säde, kulman pyöristys

I, J, K – kaaren keskipisteen koordinaatit

F – syöttönopeus

S – karan pyörimisnopeus tai lastuamisnopeus

T – työkalun numero

M – kytKentätoiminto

B – pyöröpöydän asema

H – pituuden kompensointinumero

D – säteen kompensointinumero

P, X – viive

P – aliohjelman numero

L – toistokertojen määrä

P, Q, R – kiinteän työkierron parametrit

Esimerkki yksinkertaisesta NC-lauseesta:

N01 G01 X25 Y40 Z-1 M03

Jokainen yllä oleva koodi on oma sanansa:

N01

G01

X25

Y40

Z-1

M03

(Pikkarainen & Mustonen, 2010, s. 116–117)

6 Laboratoriotyö

Laboratoriotyön suunnittelu ja toteutus tapahtuu Penta Machine Companyn valmistamille Pocket NC-koneille. Työn suunnittelu sisältää monia työvaiheita sekä laitteiden käyttöönottoa. Työstettäville kappaleille tarvittavat työstöradat laaditaan Mastercam ohjelmistolla.

6.1 Penta Machine Co.

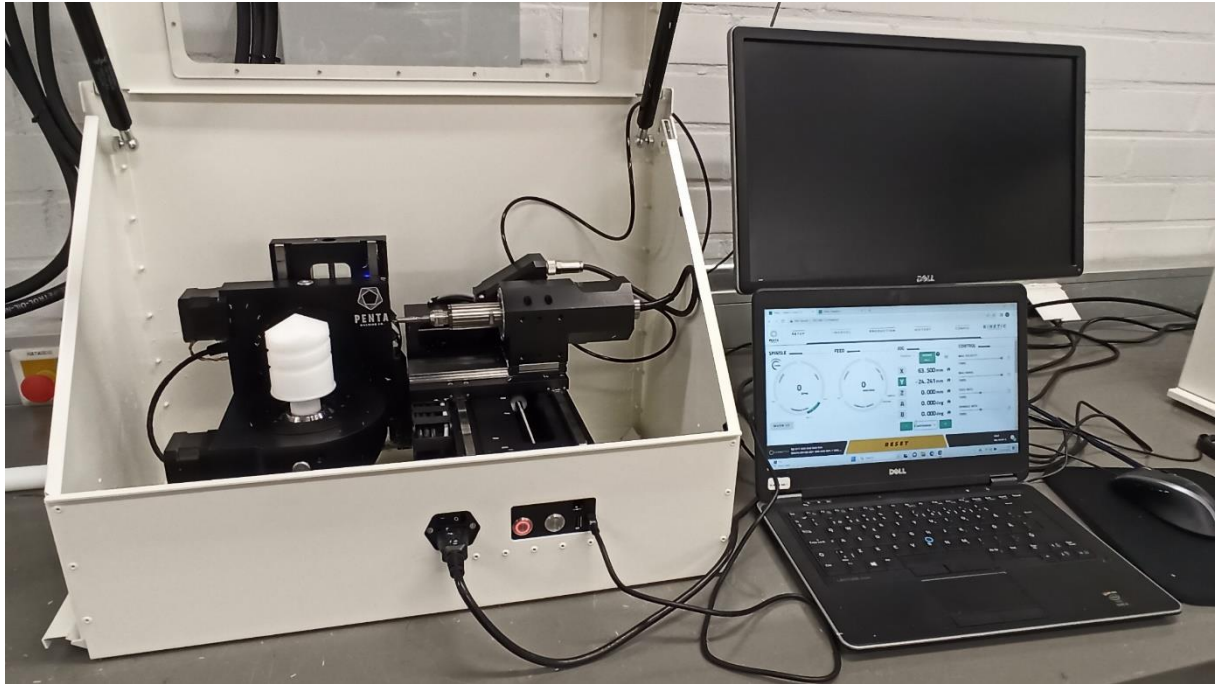
Penta Machine Companyn perusti vuonna 2011 Matt ja Michelle Hertel, toimivan Kickstarter kampanjan avulla. Penta Machine Companyn pääasiallisena tarkoituksena on tuottaa markkinoille helposti käyttöönotettavia NC-koneita, ja tuoda esille jyrsinnän edistysaskeleet ihmisille ja yrityksille ympäri maailmaa. He yrittävät helpottaa tuotteiden saamista suunnittelusta tuotantoon ja kehittävät helposti lähestyttäviä ratkaisuja 5-akseliseen koneistukseen, joka auttaa niin harrastajia, kuin koulutuslaitoksiakin. (Penta Machine Company, 2020)

6.1.1 Pocket NC V2-50CHK

Pocket NC V2-50 on Penta Machine Companyn valmistamista 5-akselisista NC-jyrsimistä uusin ja tehokkain malli. Sillä voidaan työstää monia eri metalleja alumiinista myös aina G5-luokan titaaniin ja sen karan maksimipyörimisnopeus on 50 000 kierrosta minuutissa. Akseleiden suuntaiset maksimiliikeradat ovat 128,3 mm (Y-akseli), 115,5 mm (X-akseli) ja 90,1 mm (Z-akseli). (Penta Machine Company, 2020)

V2-50CHK, kuten kaikki muutkin Pocket NC-mallit, mahtuu työpöydälle ja toimii valovirralla, joten tarvetta voimavirralla ei ole. Kyseisessä mallissa kuitenkin paineilma on pakollinen vaatimus karan tehokkaalle toiminnalle. Laite on erittäin soveltuva myös harrastetoimintaan sen vaatiessa vain vähän tilaa ja sen ollessa suunniteltu käyttäjäystävälliseksi. Kuvassa 7 nähdään Pocket NC V2-50CHK kone, sekä Kinetic Control hallintapaneeli avoimella tietokoneella. (Penta Machine Company, 2020)

Kuva 7. Pocket NC V2-50CHK.



6.1.2 Post-prosessointi

Pocket NC-koneet toimivat normaalilla G-koodikielellä, kuten suurin osa muistakin NC-koneista. Koneistettaville kappaleille luodaan työstöradat Mastercam ohjelmistolla, joka ei automaattisesti tuota koneen luettavaa G-koodia. Tässä tapauksessa Mastercam ja Pocket NC yhteensopivan post-prosessorin saa ladattua Penta Machine Companyn kotisivuilta, joka mahdollistaa työstöratojen suunnittelun ja kappaleiden työstämisen. (Penta Machine Company, 2020)

6.1.3 Työkalut

Pocket NC koneessa voidaan käyttää tavallisia jyrsinnässä ja porauksessa käytettäviä työkaluja. Rajoituksena työkaluille on varren maksimihalkaisija 6 mm. Käytössä on tappi-, pallo-, ja viistejyrsinteriä, sekä eri kokoisia poranteriä.

6.2 Ohjelmistot

Laboratoriotyön suunnittelussa sekä Pocket NC-koneiden käytössä tarvitaan monenlaisia ohjelmistoja, jotta koneiden käyttö olisi mahdollista. Tarvitaan ohjelmistoja, joilla on mahdollista mallintaa, luoda työstöratioja sekä valvoa koneen toimintoja.

6.2.1 Mastercam

Mastercam on NC-ohjelmointiin valmistettu ohjelmisto, joka on suunniteltu erityisesti koneistusprosessien suunnitteluun ja ohjelmointiin. Se tarjoaa monipuoliset työkalut ja toiminnot aina mallinnuksesta työstöratiojen valmistukseen ja simulointiin. Se onkin maailman myydyin ohjelmisto tähän tarkoitukseen ja lähes 40 vuoden aikana Mastercam-ohjelmistoa on toimitettu yli 250 000 lisenssiä ympäri maailman. (Mastercam, 2023)

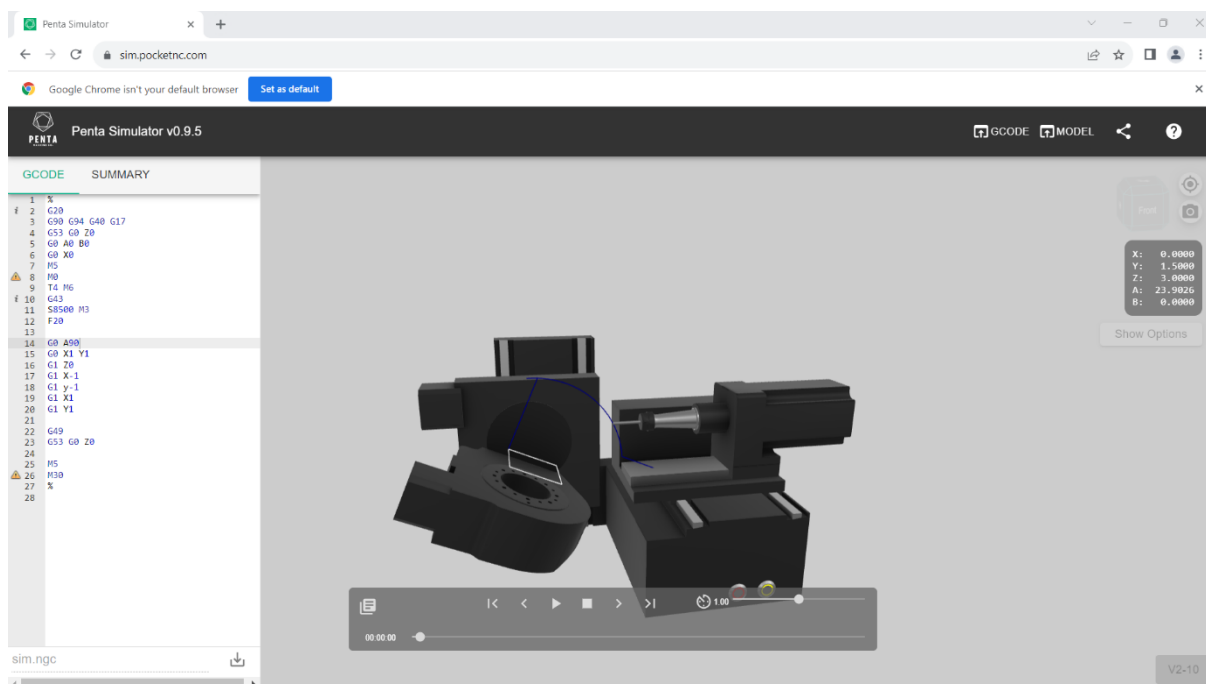
Mastercamin ominaisuudet ovat monipuoliset. Sillä voidaan luoda NC-jyrsimille tavanomaisia 3-akselisia työstöratioja, esimerkiksi taskut ja reiät. Työstö voidaan ohjelmoida suoritettavaksi monenlaisilla koneistuksessa käytettävillä työkaluilla, esimerkiksi poranterät ja jyrsintapit. Ohjelmistolla onnistuu myös moniakselisten työstöratiojen laatiminen, erittäinkin geometrisesti hankalille kappaleille. Moniakselisten työstöratiojen toteuttamiseen tarvitaan yleensä vähintään 4- tai 5-akselisia työstökoneita. Mastercam sisältää myös CAD-työkaluja, jotka mahdollistavat osien mallintamisen ja muokkaamisen suunnittelun ja valmistuksen yhteydessä. Simulointi ominaisuudet helpottavat tarkastamaan ohjelmia, ennen kun ne ajetaan NC-koneella. (Mastercam, 2023)

6.2.2 Pocket NC Simulator

Pocket NC Simulator on verkossa toimiva ohjelmisto, jolla voidaan simuloida koneen käyttäytymistä työstötilanteessa. Simulatoriin on mahdollista ladata G-koodi ja työstettävän

kappaleen malli, jolloin voidaan tarkasti nähdä, miten kone käyttäytyy kappaletta työstettäessä. Tällä simuloinnilla voidaan havaita mahdolliset törmäykset ja muut virheliikkeet. Simulator ohjelmisto on erittäin hyödyllinen myös siitä syystä, että se varoittaa, jos ohjelmassa on jokin turha tai toimimaton koodi, jota täytyy muokata. Ohjelmistossa on myös mahdollista muokata toimimatonta G-koodia manuaalisesti, jonka jälkeen sen voi ladata. Kuvassa 8 esitetään kappaleen työstöratoja simulatorissa.

Kuva 8. Pocket NC simulator.



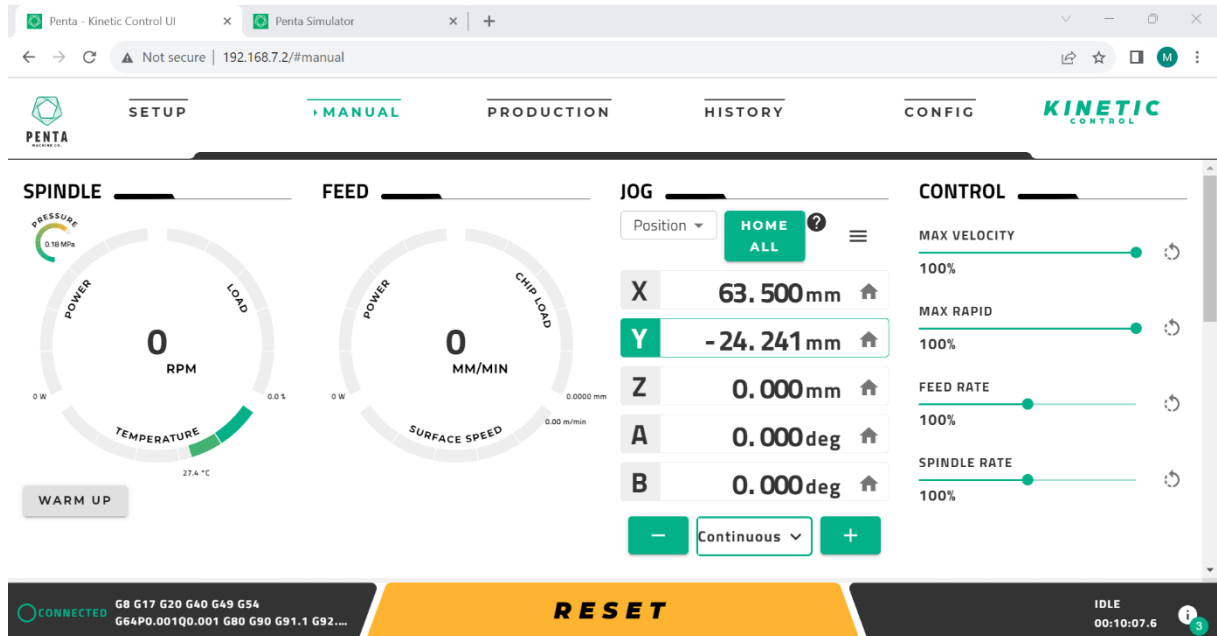
6.2.3 Kinetic Control

Pocket NC-laitteen Kinetic Control on ohjelmisto, joka ohjaa kyseisiä laitteita. Kinetic Control ohjelmisto on erittäin helppokäyttöinen ja käyttäjäystävällinen. Ohjelmiston käyttöön, sekä käyttöönottoon löytää erittäin selkeät ohjeet Penta Machine Companyn kotisivuilta, sekä laitteen mukana toimitetussa käyttöönotto-oppaassa.

Kinetic Control hallintapaneeli toimii verkkoselaimessa, sinne syötetyn IP-osoitteen perusteella. Hallintapaneelista voidaan tarkastella monia koneen ominaisuuksia, kuten karan pyörimisnopeutta, syöttönopeutta, koneen käyttämää virtaa ja kaikkien akselien paikoitusta. Tämän hallintapaneelin kautta myös annetaan eri työkalujen pituudet ja säteet, sekä määritetään työstettävän kappaleen koordinaatiston keskipiste.

Hallintapaneelista nähdään myös kaikki mahdolliset virheilmoitukset, vikatilat ja koneen tämänhetkinen tila. Koneen kotipisteeseen ajo, kuin myös muu ”käsiäjo” tapahtuu hallintapaneelin kautta. Kuvassa 9 nähdään Kinetic Control hallintapaneeli.

Kuva 9. Kinetic Control eli kineettinen ohjaus.



6.3 Laboriortyön vaatimukset

Laboriortyön pääasiallisina vaatimuksina voidaan pitää, että sen täytyy hyödyntää Pocket NC-työstökoneen kaikkia viittä työakselia ja sen täytyy olla opetukseen soveltuva. Suunnittelussa tulee huomioida mahdollinen aikataulu työn suorittamiselle, työstöajat, oppilaiden määrä, sekä käytössä olevien koneiden määrä. Työn tulee olla sopivan haastava, mutta ei kuitenkaan mahdoton. Valmistuneen työn laajuus määrittää onko kyseessä ryhmä- vai yksilöharjoitus.

6.4 Laboriortyön suunnittelu

Työn varsinainen suunnittelu alkaa miettimällä ja tutkimalla, mitä kaikkea on mahdollista toteuttaa NC-koneella ja minkälaisessa aikataulussa. Tehdään yksinkertaisia koneistettavia harjoituskappaleiden malleja CAD-ohjelmistolla ja luodaan niihin työstöradat CAM-ohjelmistolla. NC-koneilla koneistetaan ensin harjoituskappaleita ja täten varmistetaan niiden toiminta myös opetuskäytössä. Harjoituskappaleiden koneistaminen myös vahvistaa

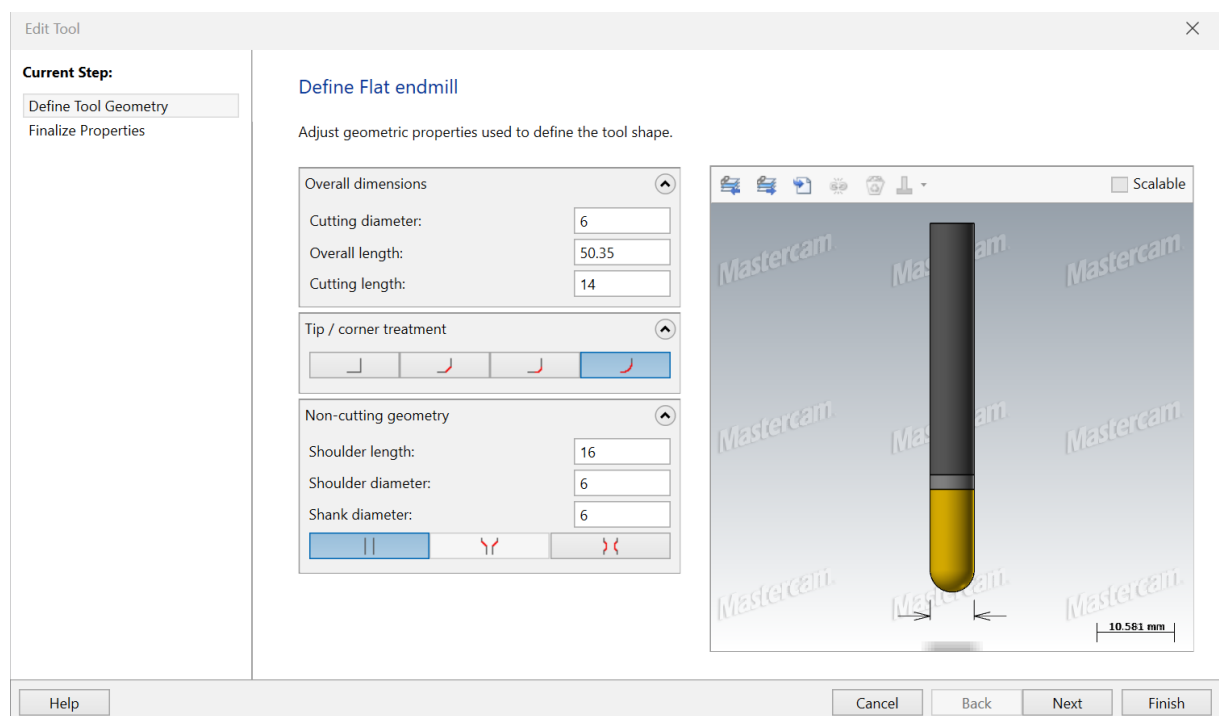
mahdollisuuksia koneen ongelmatilanteiden ratkaisussa. Koneistetaan eri muotoisia ja kokoisia harjoituskappaleita eri työkaluilla, jotta saadaan selville toimivat yhdistelmät, järkevät syöttö- ja pyörimisnopeudet sekä työstöajat.

Kun koneella on onnistuneesti saatu työstettyä riittävä määrä harjoituskappaleita ja koneen toiminta on tuttua, voidaan kehittää varsinainen harjoitustyö. Harjoituskappaleista saadun informaation perusteella voidaan päätellä, minkälaiset geometriat ja työstöradat ovat mahdollisia hyödyntää laboratoriotyössä. Näiden tietojen perusteella voidaan valmistaa laboratoriotyö, jota voidaan hyödyntää opetuksessa ja se edesauttaa NC-koneiden käytössä myös jatkossa.

6.4.1 Työkalukirjasto

Mastercamiin luodaan työkalukirjasto käytössä oleville työkaluille, jotta saadaan luotua oikeanlaisia työstöratoja koneistettaville kappaleille. Työkalukirjaston luominen tapahtuu Mastercam ohjelmistossa ja alkaa käytössä olevien työkalujen selvittämisellä. Kuvassa 10 luodaan Mastercamiin 6 mm pallojyrsin terä. Mastercamiin syötetään kaikki tarvittavat tiedot työkalusta, jotta se osaa laskea oikeat työstöradat, sekä syöttö ja pyörimisnopeudet.

Kuva 10. Työkalun luominen Mastercamiin.



Työkalut luodaan kirjastoon yksi työkalu kerrallaan ja jokaisesta käytössä olevasta työkalusta tarvitaan Mastercamin vaativat tiedot. Tiedot saadaan työkaluista mittaamalla, sekä valmistajan toimittamasta työkalupaketista. Kun kaikki halutut työkalut on luotu, se voidaan tallentaa työkalukirjastona tietokoneelle, jotta sitä voi käyttää myöhemmin työstöratoja suunniteltaessa, eikä työkaluja tarvitse luoda enää uudelleen. Kuvassa 11 nähdään laadittu työkalukirjasto, joka sisältää tappi-, pallo- ja viistejyrsinteriä.

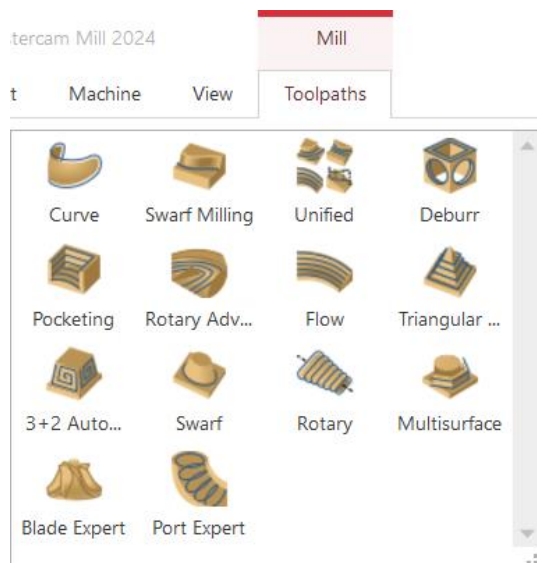
Kuva 11. Työkalukirjasto.

Tool No.	Status	Assembly Name	Tool Name	Holder Name	Diameter	Corner Radius	Length	Number of Flutes	Type	Radius Type	Tool Projection
1			4mm TAPP1 6mm VARS1	Default Holder	4.0	0.0	10.0	1	Flat endmill	None	50.5
2			2mm TAPP1 6mm VARS1	Default Holder	2.0	0.0	7.0	1	Flat endmill	None	50.2
3			1mm TAPP1 6mm VARS1	Default Holder	1.0	0.0	4.0	1	Flat endmill	None	50.15
4			6mm TAPP1 6mm VARS1	Default Holder	6.0	0.0	25.0	1	Flat endmill	None	58.35
5			90 viiste 6mm VARS1	Default Holder	6.0-45	0.0	6.0	3	Chamfer mill	None	50.25
6			6mmR1 TAPP1 6mm VARS1	Default Holder	6.0	1.0	13.0	4	Bull endmill	Corner	58.0
7			2mm PALLO 6mm VARS1	Default Holder	2.0	1.0	7.0	1	Ball endmill	Full	50.0
8			4mm PALLO 6mm VARS1	Default Holder	4.0	2.0	18.0	1	Ball endmill	Full	50.5
9			6mm PALLO 6mm VARS1	Default Holder	6.0	3.0	14.0	1	Ball endmill	Full	50.35

6.4.2 5-akseliset työstöradat

Mastercam ohjelmistolla voidaan luoda suoraan moniakselisia työstöratoja työstettävän kappaleen 3D-mallin pinnoista. Moniakselisten työstöratojen saaminen haluttuun lopputulokseen vaatii Mastercam ohjelmiston tuntemusta ja työstöratojen parametrien hallintaa. Mastercam tarjoaa monipuoliset vaihtoehdot moniakselisten työstöratojen tekemiseen. Kuvassa 12 on esitetty kaikki Mastercamin tarjoamat mahdollisuudet moniakselisten työstöratojen laatimiseen.

Kuva 12. Moniakselit työstöradat.

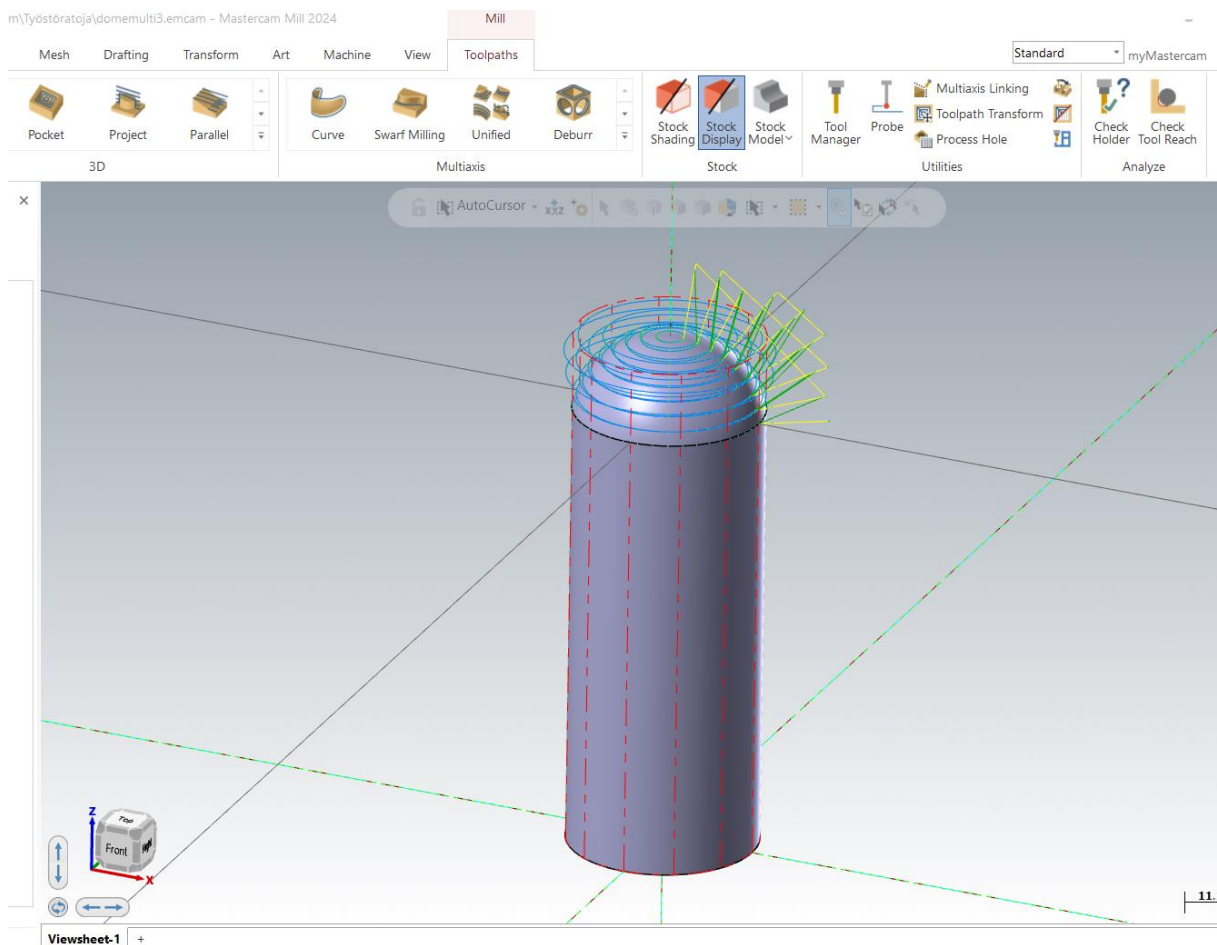


6.4.3 Harjoituskappale 1

Mallinnetaan yksinkertainen harjoituskappale ja tehdään siihen moniakselinen työstörata hyödyntäen Mastercamin tarjoamaa Multisurface työkalua. Moniakselisten työstöratojen tekoa harjoiteltaessa koneistettavat kappaleet pidetään yksinkertaisina, jotta saadaan selville miten erilaiset työstöratojen tekoon tarkoitetut työkalut toimivat.

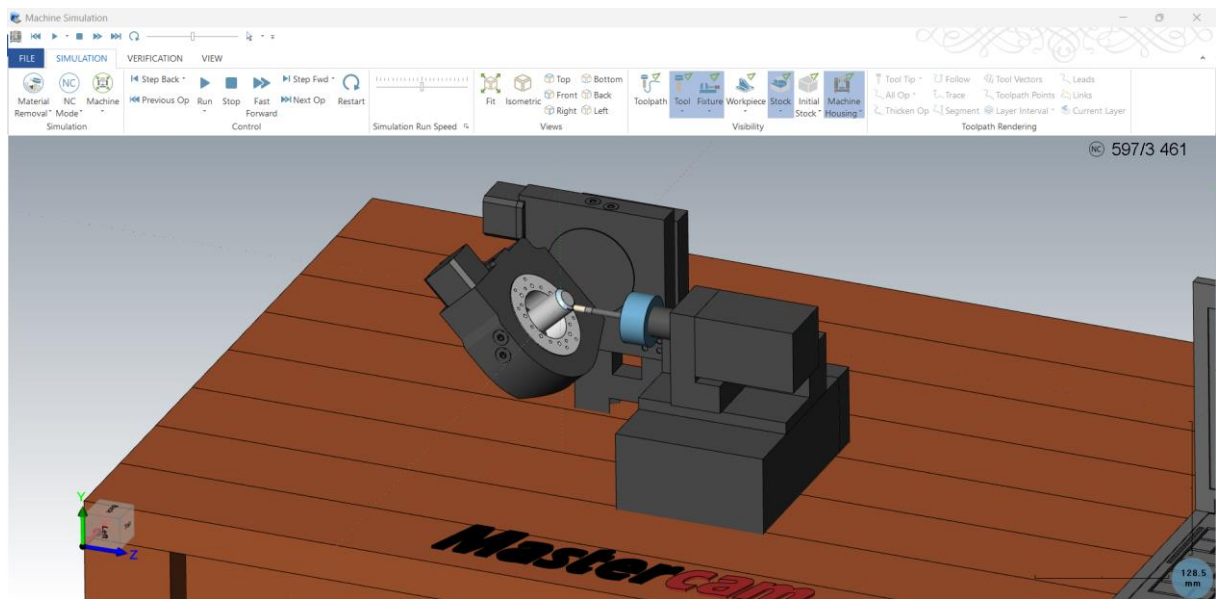
Harjoituskappaleen aihio on 70 mm pitkä lieriö, jonka halkaisija on 25 mm. Kappaleen materiaaliksi valitaan muovi sen helpon koneistettavuuden takia. Kappaleen toinen pääty pyöristetään hyödyntäen moniakselisia työstöratoja. Kuvassa 13 nähdään kappaleeseen suunnitellut työstöradat. Sininen viiva kuvaa työstöliikettä, vihreä viiva kuvaa kappaleeseen sisäänmeno liikettä ja keltainen viiva kuvaa koneen pikaliikettä.

Kuva 13. Harjoituskappaleen 1 työstöradat Mastercamissa.



Moniakselisia työstöratia suunniteltaessa tulee huomioida enemmän muuttujia, kuin tavallisissa 3-akselisissa radoissa. Pitää ymmärtää työstökoneen kääntyvien akselien suunnat, rajoitteet, sekä törmäysmahdollisuus. Pocket NC koneissa kääntyvät akselit sijoittuvat X-, ja Y-, akselien ympäri ja ne on nimetty A-, ja B-, akseleiksi. Koneen toiminnan tarkastelua ja törmäystarkastelua helpottaa konesimulaatio, joka on mahdollista suorittaa Mastercamilla. Konesimulaatiossa voidaan tarkastella, miten kyseinen kone liikkuu ja työstää kappaletta suunniteltujen työstöratien mukaan. Konesimulaatio harjoituskappaleesta nähdään kuvassa 14. Kun on varmistettu, ettei kone törmää mihinkään, eikä ohjelmassa ole mitään sinne kuulumattomia liikkeitä, voidaan ohjelma ladata Pocket NC-koneen muistiin, asettaa nollapaikat ja varovasti ajaa se läpi ilman aihiota. Kun ohjelma on ajettu ilman aihiota työstökoneessa onnistuneesti, voidaan koneeseen asettaa aihio ja ajaa ohjelma työstäen kappaletta. Kappaleen ajo onnistui suunnitellusti, joten seuraavaan harjoituskappaleeseen voidaan lisätä monimutkaisempia geometrioita ja harjoitella haastavimpien työstöratien suunnittelua.

Kuva 14. Konesimulaatio.

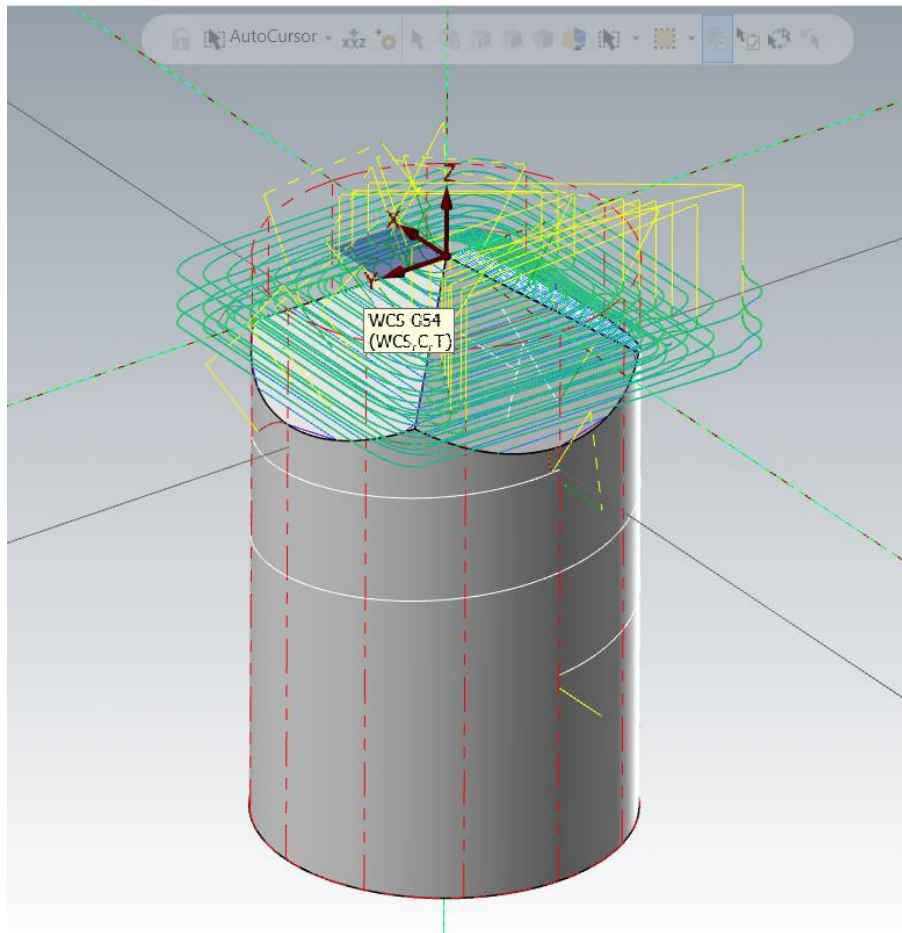


6.4.4 Harjoituskappale 2

Seuraavassa harjoituskappaleessa tutustutaan monipuolisemmin Mastercamin tarjoamiin moniakselisten työstöratojen suunnitteluun tarkoitettuihin työkaluihin. Kappaletta käytetään Hämeen ammattikorkeakoulun demo kappaleena esiteltäessä Pocket NC-koneen mahdollisuuksia opetuksen tukena.

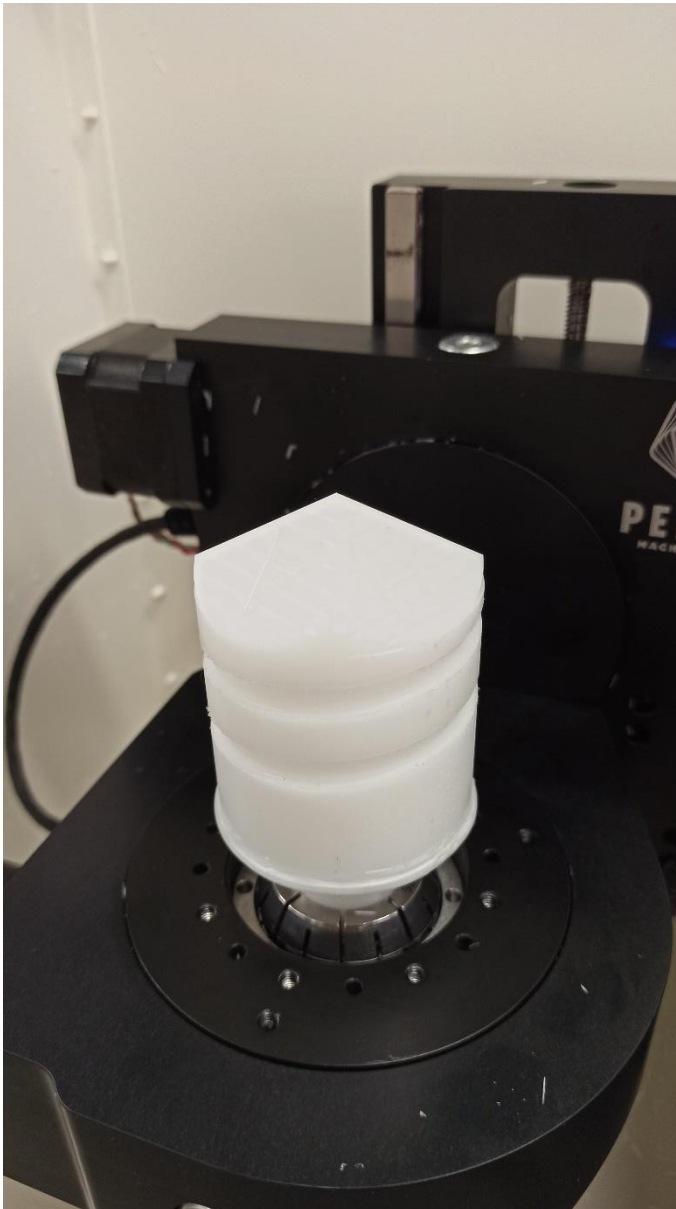
Kappale suunnitellaan siten, että siinä hyödynnetään mahdollisimman paljon 5-akselista työstöä ja monipuolisia liikeratoja. Ensimmäisestä harjoituskappaleesta huomataan, että muovia koneistettaessa työstöarvot voidaan asettaa korkeammiksi. Kappaleeseen suunnitellaan työstöradat käyttäen Mastercamin 3D-dynamic Optirough-, Multisurface-, ja Curve-toimintoja. Kappaleeseen laaditut työstöradat nähdään kuvassa 15. Työstössä tutustutaan myös koneistuksen aikaiseen työkalun vaihtoon, käytettäessä 6 mm tappijyrsintä, sekä 2 mm tappijyrsintä.

Kuva 15. Harjoituskappaleen 2 työstöradat Mastercamissa.



Ohjelma simuloidaan simulaattorissa, jonka jälkeen se ajetaan työstökoneella ilman ahiota. Kun on päätetty, että työstöradat näyttävät toimivilta ja ohjelma toimii, voidaan suorittaa ajo aihion kanssa. Kappaleen työstöaika on noin 15 minuuttia ja koneistuksen aikana huomataan, että työstöratoja, syöttöjä, sekä pyörimisnopeuksia voidaan suurentaa työstöajan lyhentämiseksi. Muilta osin kappaleen koneistaminen sujui suunnitellusti ja lopputulos on hyvä. Koneistettu kappale nähdään kuvassa 16.

Kuva 16. Harjoituskappale 2 työstettynä.



6.4.5 Johtopäätökset harjoituskappaleista

Monipuolisia harjoituskappaleita valmistettiin enemmän, kun tässä dokumentissa esitellään, eikä kaikkien esittelyä nähdä tarpeellisena. Harjoituskappaleille suunnitelluista työstöradoista huomataan, että moniakselisten työstöratojen suunnittelu on huomattavasti haastavampaa kuin perinteisten 3-akselisten työstöratojen suunnittelu. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon kappaleen geometrian ja oikeiden työkalujen lisäksi mahdolliset törmäykset kappaletta pyörittäessä, työkalun oikea kulma työstettävään kappaleeseen nähden sekä kappaleen sijoitus työstökoneessa.

Harjoituskappaleiden työstöratona suunniteltaessa saavutettiin tarvittava osaaminen Mastercamin Multiaxis-toimintoihin, sekä Pocket NC-koneen käyttöön. Seuraavassa vaiheessa voidaan alkaa suunnittelemaan varsinaista laboratoriotyötä käyttäen hyväksi harjoituskappaleista saatua informaatiota. Laboriatoriöön tulee olla tarpeeksi haastava, mutta silti mahdollinen valmistaa annetussa aikaikkunassa. Sen tulee myös sisältää geometrioita, joissa voidaan hyödyntää moniakselista koneistusta, kuitenkin sen pysyessä valmistettavuuden rajoissa.

7 Laboriatoriöt

7.1 Laboriatoriö 1

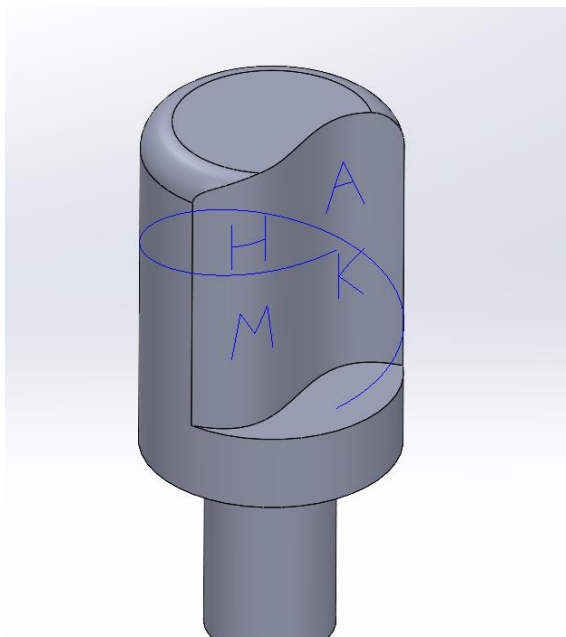
Ensimmäisessä laboratoriöössä hyödynnetään sylinterimäistä aihiota, jonka materiaalina on muovi. Muovia on erittäin helppo koneistaa myös suuremmilla työstöarvoilla ja tämä yksinkertaistaa laboratoriöön toteutusta sekä mahdollistaa laboratoriötöiden suuremman määrän valmistuksen lyhyessä ajassa. Muovin käyttäminen työstömateriaalina myös vähentää riskiä laitteiden rikkoutumisesta törmäystilanteessa tai virheellisistä syöttöarvoista johtuvasta liikkeestä.

Aihio valmistellaan muovisylinteristä, jonka halkaisija on 50 mm ja pituus 110 mm. Aihion toisesta päädyistä sorvataan 40 mm matkalta halkaisijaksi 25 mm, jotta se voidaan kiinnittää tukevasti Pocket NC-koneeseen. Sylinterimäisen kappaleen kiinnitykseen voidaan hyödyntää laitteen mukana tullutta holkkikiinnitystä, joka on valmiiksi sijoitettu työstöpöydän keskelle. Tämä helpottaa kappaleen työstövaiheessa huomattavasti nollapisteen asettamista, koska sylinterimäiseen kappaleeseen työstöratona ohjelmoitaessa voidaan nollapiste pitää kappaleen keskiakselilla, jolloin 2 akselia on jo valmiiksi keskellä kappaletta, eikä ole tarvetta asettaa kuin Y-akselin paikoitus työstökoneeseen.

Suunnitellaan laboratoriö sylinterimäisen aihion sisään, jossa hyödynnetään mahdollisimman montaa eri moniakseliseen työstöön tarkoitettua toimintoa Mastercamissa. Laboriatoriön koneistettavia geometrioita suunniteltaessa tulee huomioida, että se on vaikeustasoltaan 5-akseliseen työstöön perehdyttävä ja sille pitää pystyä suunnittelemaan työstöradat ilman aiempaa kokemusta. Seuraavassa kuvassa nähdään suunniteltu laboratoriö.

Malli on enimmäkseen solid malli step muodossa, mutta 3d-curve ominaisuudet säilytetään viivoina, jotta työstöratojen tekeminen on helpompaa ja radoissa voidaan käyttää monia eri työkaluja valinnan mukaan. Malliin on suunniteltu moniulotteisia pintoja ja työstö tapahtuu kappaleen jokaisesta mahdollisesta suunnasta.

Kuva 17. Laboratoriotyö mallinnettuna.



Aloitetaan työstöratojen suunnittelu laboratoriotyön malliin ja selvitetään mitä kaikkia Mastercamin tarjoamia Multiaxis ominaisuuksia voidaan käyttää kappaleen työstössä. Työstöratojen suunnittelu aloitetaan sopivien rouhintaratojen etsimisellä. Suurin rouhinta tapahtuu, kun sylinterin muotoisesta aihioista työstetään aallon muotoinen pinta.

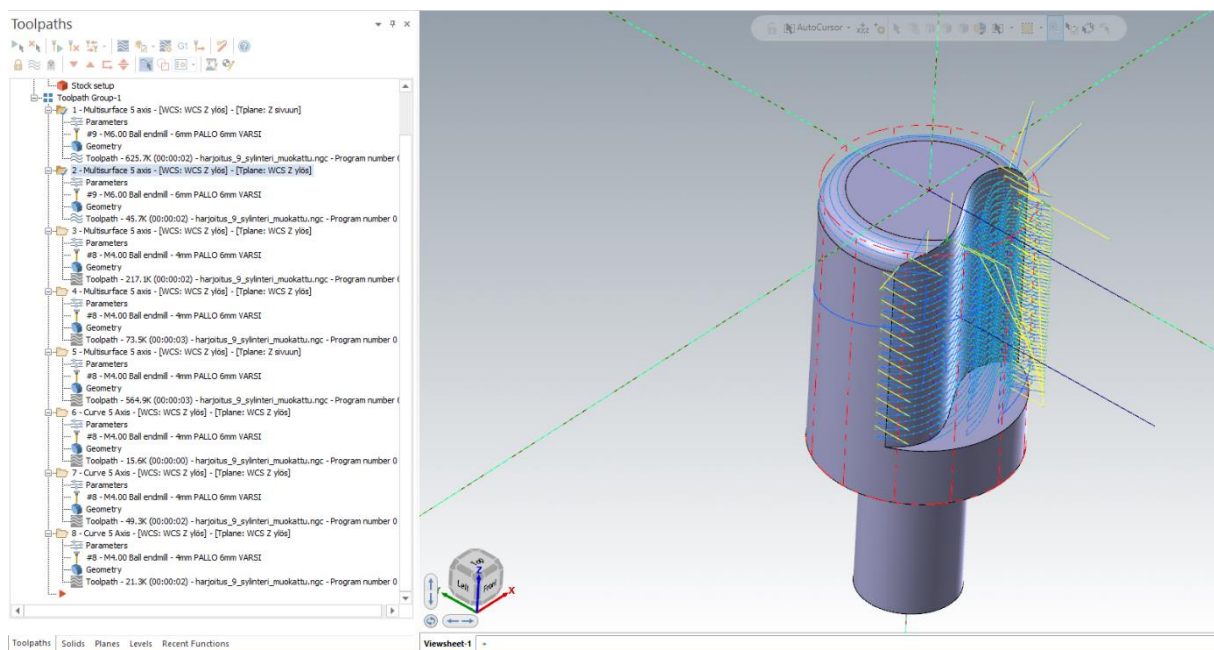
Ensimmäiseksi selvitetään aallon muotoisen pinnan rouhintaan sopiva työkalu, joka tässä tapauksessa on 6 mm pallojyrsinterä. Pallojyrsinterä on moniakselisessä työstössä erittäin suosittu sen mahdollistaessa työstön monista eri suunnista, kun taas tappijyrsinterän on oltava kohti suoraan pintaan nähden. Pallojyrsinterää käytettäessä on askeleen pituuden oltava lyhyt terän halkaisijaan nähden, jotta pinnanlaatu saadaan halutunlaiseksi.

Rouhinnassa asialla ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, kun materiaalia halutaan poistaa mahdollisimman paljon mahdollisimman nopeasti ja pintaan ajetaan viimeistely myöhemmin pienemmällä työkalulla. Työstörata saadaan aikaan pitkien kokeilujen jälkeen Mastercamin Multisurface ominaisuudella. Multisurface ominaisuudessa on mahdollisuutena valita

käyttöön myös rouhinta ja säättää askelten, sekä lastun syvyyden arvot. Näin saadaan aikaan suhteellisen nopea ja paljon materiaalia poistava akseliohjattu työstörata.

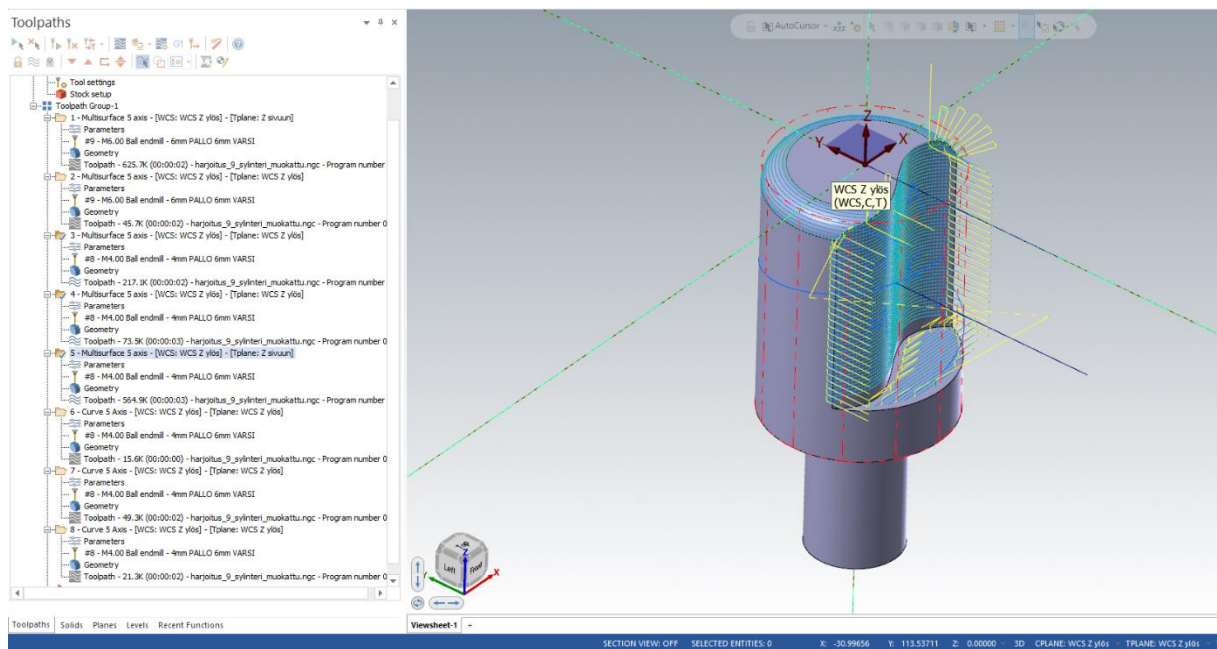
Työstöratoja suunniteltaessa kannattaa miettiä kaikki mahdolliset työstöt, jotka voidaan suorittaa samalla työkalulla. Näin voidaan säästää aikaa, kun työkalua ei tarvitse vaihtaa aina kun työstörata vaihtuu. Päätetään rouhia vielä kappaleen yläpinnassa oleva pyöristys ja jatketaan työstöratojen suunnittelua käyttäen 6 mm pallojyrsinterää. Pitkien kokeilujen jälkeen toimivimmat työstöradat saadaan aikaan Multisurface toiminnolla ja ne voidaan nähdä kuvassa 18.

Kuva 18. Laboratoriotyö 1 rouhinnat.



Kun suurpiirteiset rouhinnat on saatu suunniteltua, voidaan siirtyä viimeistelyyn, jolla saavutetaan haluttu pinnanlaatu. Viimeistely suoritetaan 4 mm pallojyrsinterällä ja siinä käytetään eri työstöarvoja. Askelten pituutta lyhennetään ja syöttöä pienennetään pinnanlaadun parantamiseksi. Viimeistelyn työstöradat, jotka nähdään kuvassa 19, eivät eroa silmämääräisesti huomattavasti rouhinnan radoista. Eroavaisuuksia kuitenkin on. Askelten väli on noin 50 % pienempi kuin rouhinnassa, syöttöarvoja on pudotettu noin 33 % ja työstön suuntia on muutettu. Pintojen viimeistelyn jälkeen voidaan suunnitella työstöradat kirjaimille sekä spiraalille.

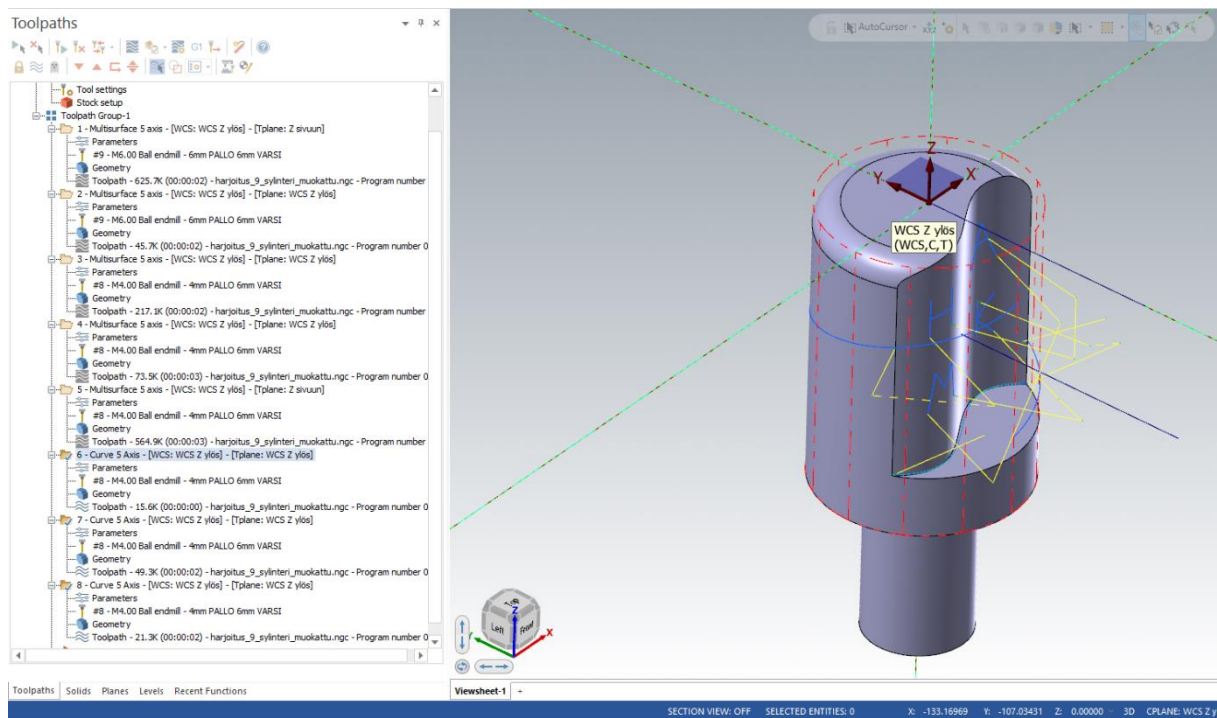
Kuva 19. Laboratoriotyö 1 viimeistelyt.



Multisurface toimintoa käytettiin rouhinnassa, sekä viimeistelyssä onnistuneesti, mutta kirjainten ja spiraalin koneistamiseen se ei sovellu. Multisurface vaatii toimiakseen koneistettavan pinnan muodon, mutta kirjaimet ja spiraali on tehty 3D-viivoilla, joita ei voi Multisurface toiminnossa käyttää. Näiden työstöratojen suunnitteluun käytetään Curve-toimintoa, joka on tehty seuraamaan 3D-viivoja. Curve toimintoa käytettäessä valitaan työkalu, työstöarvot ja työstösuunnat samallailla, kuin kaikissa muissakin työstöratatoiminnoissa, mutta erona on se, että sillä voi seurata valittuja 3D-viivoja. Tässä tapauksessa valitaan koneistettaviksi viivoiksi mallinnetut kirjaimet, sekä aaltomaisen pinnan pohjan nurkka, jotta sinne saadaan koneistettua pyöristys. 3D-viivoihin laaditut työstöradat nähdään kuvassa 20.

Kun työstöradat saadaan valmiiksi ja tarkastettua voidaan ohjelma ajaa postprosessorin kautta ulos Mastercamista ja kokeilla simulaattorissa sen toiminta.

Kuva 20. Laboratoriotyö 1 3D-viivat.

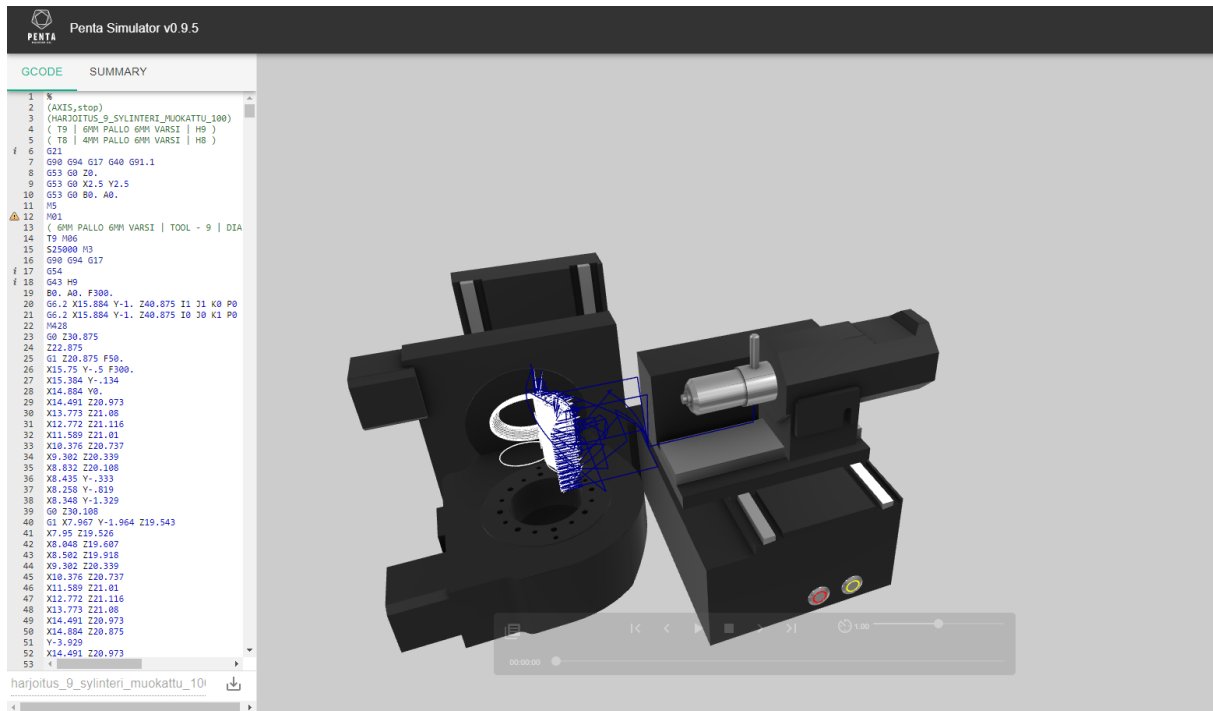


Kappaleen simuloinnissa esiintyy muutama ongelma lähinnä pöydän kääntöjärjestelmän toiminnan suhteen. Myös kappaleen suuri koko aiheuttaa hieman hankaluuksia työstökoneen ollessa suhteellisen pieni. Ongelmat saadaan kuitenkin ratkaistua suhteellisen nopeasti hieman ohjelmaa muuttamalla. Työstöratojen vaihtuessa käytettäviä liikkeitä hieman optimoidaan ja työstötasojen suuntia muutetaan, jotta ohjelmasta saadaan toimiva. Kappaleen simuloitut työstöradat nähdään kuvassa 21.

Simuloinnin avulla ohjelma saadaan korjattua ennen varsinaista työstöä, josta on suuri apu. Jos simulointia ei olisi käytettävissä, pitäisi ohjelma kokeilla koneella joko aihion kanssa tai ilman. Aihion kanssa kokeiltaessa on aina riski, että ohjelma ei toimi halutulla tavalla ja saattaa ajaa kappaletta päin. Ilman aihiota ohjelmaa ajettaessa on taas vaikea hahmottaa, missä aihio sijaitsisi ja toimiiko ohjelma oikein. Simulointi nopeuttaa huomattavasti ohjelman saamista koneeseen ja kappaleen varsinaista työstämistä, kun ohjelmaan ei tarvitse tehdä enää korjauksia varsinaisen työstön aikana.

Simulointi saadaan ajettua onnistuneesti läpi ohjelmaan suoritettujen muutosten jälkeen. Tämän jälkeen ohjelman toimivuus vielä varmuudeksi tarkastetaan ajamalla se koneella ilman aihiota.

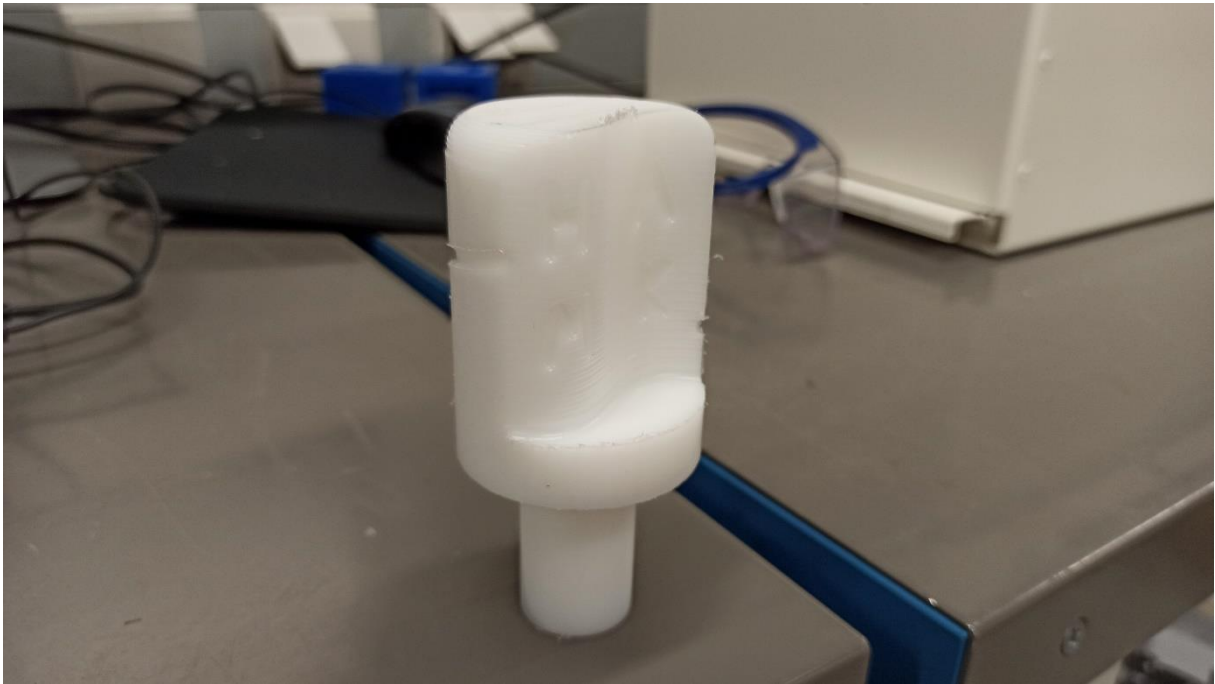
Kuva 21. Laboratoriotyö 1 simulointi.



Ohjelma ajetaan onnistuneesti läpi myös työstökoneella ilman aihiota, jonka jälkeen kiinnitetään aihio koneeseen ja aloitetaan varsinainen työstö. Kappaleen työstäminen sujuu ilman suurempia ongelmia, huomataan pieniä yksityiskohtia, joita voidaan ohjelmaan muuttaa työstämisen parantamiseksi.

Kappale saadaan työstettyä onnistuneesti ja lopputulos on hyväksyttävä. Kappale nähdään koneistettuna kuvassa 22 ja laboratoriotyön ohjeistus löytyy liitteestä 1. Kappaleen koneistamiseen kului aikaa noin 40 minuuttia eli hieman kauemmin kuin simulaattorin arvioima aika, joka oli 30 minuuttia.

Kuva 22. Laboratoriotyö 1 koneistettuna.



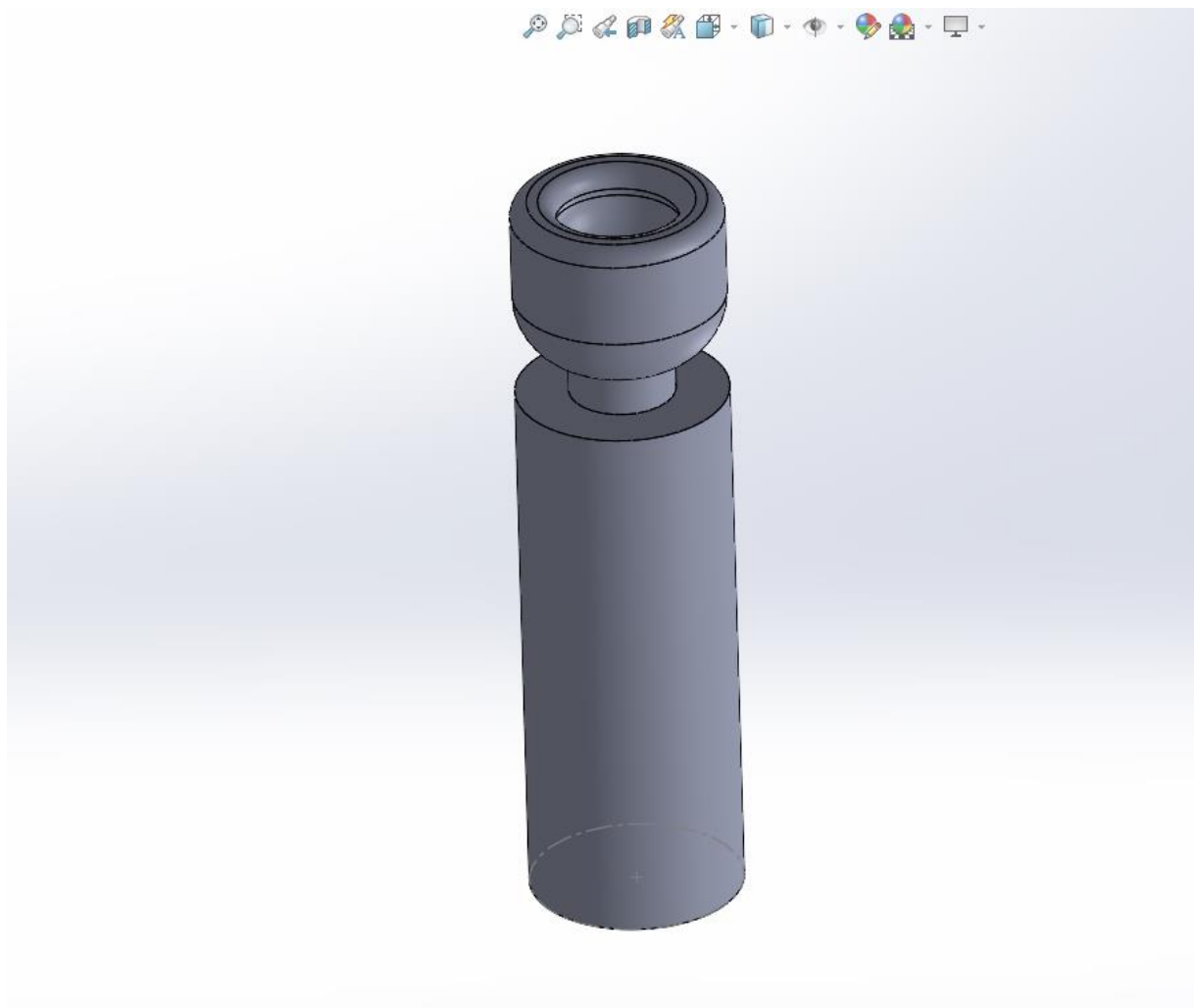
7.2 Laboratoriotyö 2

Toisessa laboratoriotyössä hyödynnetään myös sylinterimäistä aihiota, jonka materiaalina on muovi. Suunnitellaan laboratoriotyö niin, että siihen suunniteltavien työstöratojen suunnitteluun voidaan käyttää eri toimintoja kuin ensimmäisessä laboratoriotyössä.

Aihio valmistellaan muovisylinteristä, jonka halkaisija on 25 mm ja pituus noin 100 mm. Tämänkin laboratoriotyön aihion kiinnitykseen voidaan hyödyntää laitteen mukana tullutta holkkikiinnitystä, joka on valmiiksi sijoitettu työstöpöydän keskelle. Tämä helpottaa kappaleen työstövaiheessa huomattavasti nollapisteen asettamista, koska sylinterimäiseen kappaleeseen työstöratoja ohjelmoitaessa voidaan nollapiste pitää kappaleen keskiakselilla, jolloin 2 akselia on jo valmiiksi keskellä kappaletta, eikä ole tarvetta asettaa kuin Y-akselin paikoitus työstökoneeseen.

Laboratoriotyön geometriaa voidaan kuvailla sisäänpäin aukeavaksi kupiksi ja se nähdään kuvassa 23. Tarkoituksena on hyödyntää moniakselista työstöä aihion sisäpuolella ja välttellä työkalun törmäystä aihioon.

Kuva 23. Laboratoriotyö 2 mallinnettuna.

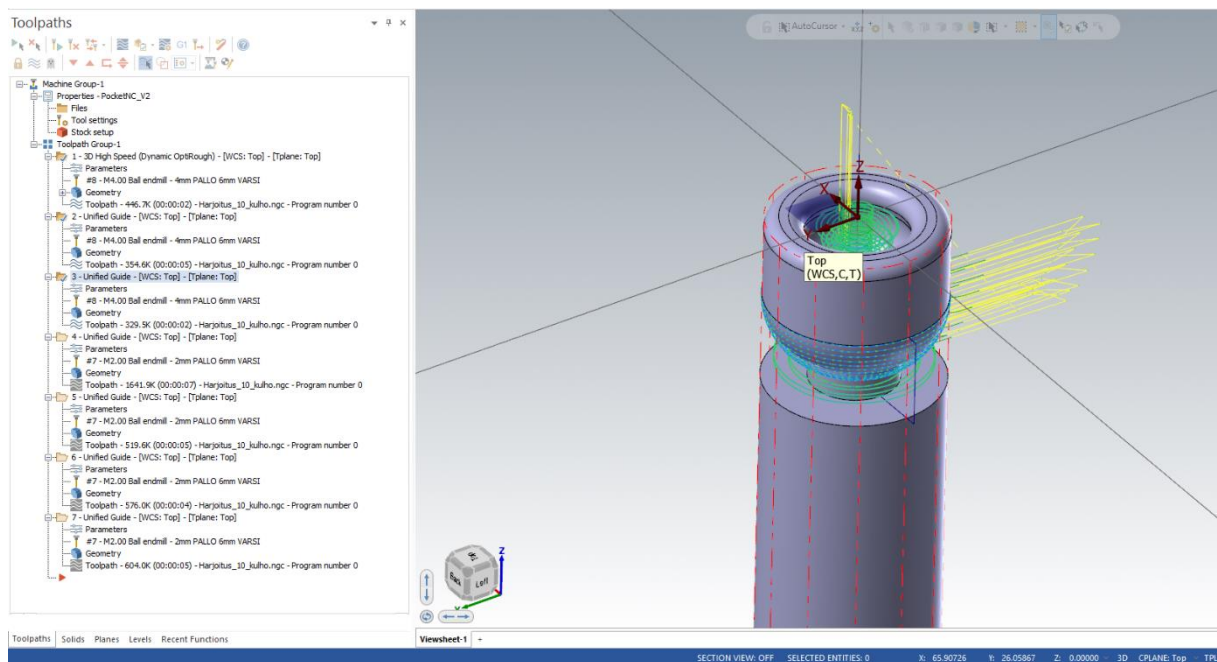


Aloitetaan työstöratojen suunnittelu laboratoriotyön malliin ja selvitetään mitä kaikkia Mastercamin tarjoamia Multiaxis ominaisuuksia voidaan käyttää laboratoriotyön varsinaisessa työstössä.

Aihion halkaisijan ollessa vain 25 mm voidaan työstö suorittaa suhteellisen pienillä työkaluilla. Valitaan käytettäväksi työkaluiksi 4 mm ja 2 mm pallojyrsinterä. Pallojyrsinterä toimii hyvin kyseisen kappaleen työstössä, mutta vaatii pienen askeleen pituuden, jotta saavutetaan tarvittava pinnanlaatu.

Ensimmäisenä suunnitellaan kappaleeseen rouhinta. Rouhinnat suoritetaan 4 mm pallojyrsinterällä. Rouhinnalla poistetaan suurimmat materiaalit kappaleen sisältä, sekä kappaleen ulkopuolelta ja sen työstöradat nähdään kuvassa 24.

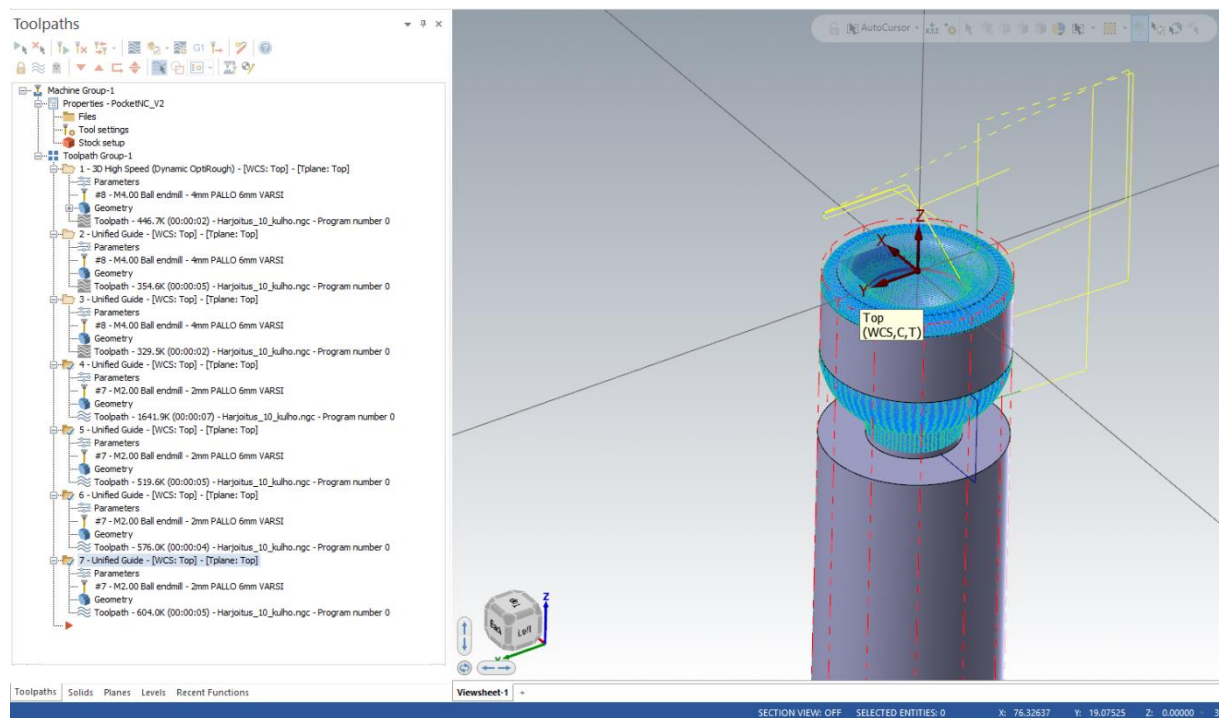
Kuva 24. Laboratoriotyö 2 rouhinta.



Kappaleen sisäpuolinen rouhinta toteutetaan Dynamic Optirough toiminnolla, joka on tarkoitettu suurten materiaalmäärien nopeaan poistamiseen. Kappaleen ulkopuolinen rouhinta toteutetaan Unified toiminnolla, jossa akseli seuraa osoitettua geometriaa.

Kun rouhinnat on saatu suunniteltua, voidaan siirtyä viimeistelyyn. Viimeistelyssä käytetään 2 mm pallojyrsinterää, sekä erittäin pientä askeleen pituutta, joka kasvattaa työstöaikaa, mutta parantaa pinnanlaatua. Viimeistely suunnitellaan 1 alue kerrallaan parhaimman lopputuloksen saamiseksi. Jokaisessa työstövaiheessa koneen akselia ohjataan eri suunnasta ja erilaisilla valinnoilla. Myös viimeistelyssä käytetään Unified toimintoa. Kappaleen viimeistelyratojen erittäin tiuha askeleen pituus nähdään kuvassa 25.

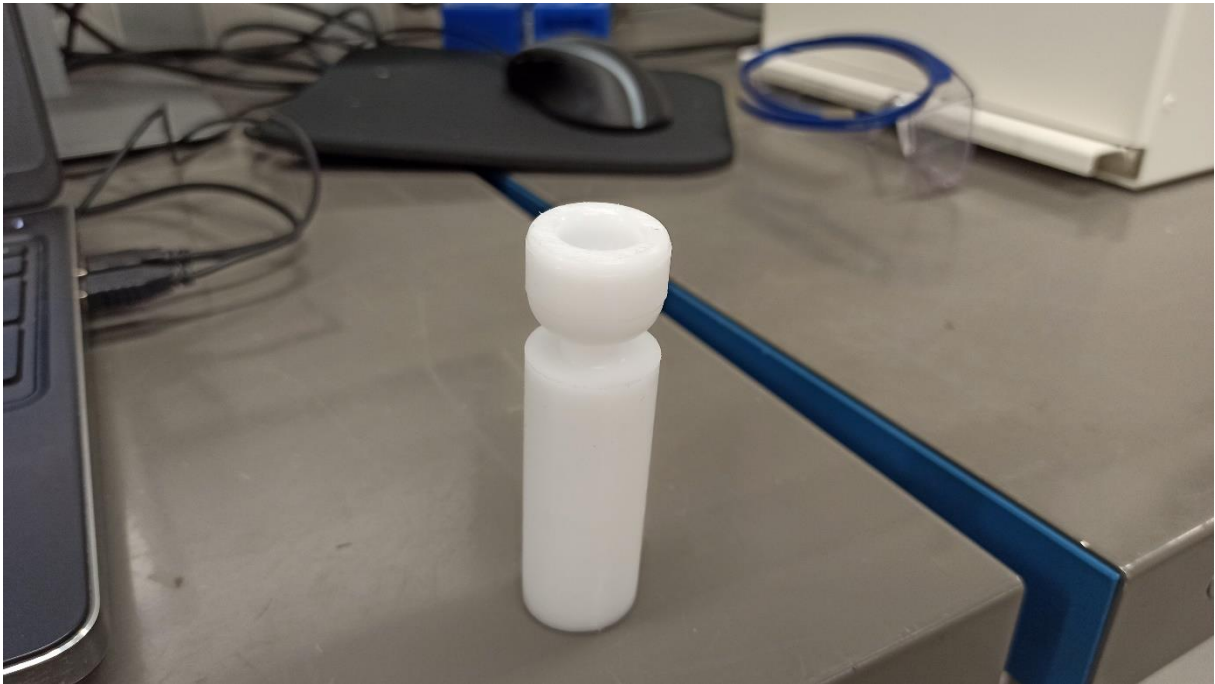
Kuva 25. Laboratoriotyö 2 viimeistely.



Kun työstöradat on saatu suunniteltua niin ohjelma simuloidaan. Simuloinnissa huomataan monia virheellisiä liikkeitä ja aletaan korjaamaan ohjelmaa. Muutetaan työstöratojen arvoja, sekä suuntia, jotta ohjelma saadaan toimivaksi. Monien kokeilujen jälkeen ohjelmasta saadaan toimiva ja se voidaan ajaa koneella.

Kappaleen koneistaminen onnistuu suunnitellusti. Ohjelma koneistaa juuri halutunlaisen geometrian eikä törmää kappaleeseen. Koneistettu kappale nähdään kuvassa 26 ja laboratoriotyön ohjeistus löytyy liitteestä 2.

Kuva 26. Laboratoriotyö 2 koneistettuna.



8 Yhteenveto

Valmiita laboratoriotöitä saatiin suunniteltua kaksi kappaletta. Töiden suunnittelu oli haastavaa, mutta onnistui suunnitellusti. Eritoten haasteita aiheutti moniakselisten työstöratojen suunnitleminen sekä koneen kääntöpöydän hallinta. Moniakselisten työstöratojen suunnittelun opetteleminen on pitkäjänteinen prosessi. Siinä onnistuttiin kuitenkin hyvin käytettyyn aikaan nähden. Alkuvaiheessa syntyneet työstöradat olivat yksinkertaisia ja työstöakselin hallinta oli hankalaa. Työstöakselia hallittiin lähinnä pintojen tai tasojen suhteen. Työn loppuvaiheessa kuitenkin työstöakselia osattiin jo hallita monilla eri asetuksilla ja päästiin suunnittelemaan hankalampia ja monimutkaisempia työstöratoja, joilla mahdollistettiin monimutkaisempien muotojen työstäminen. Koneen työstöpöydän hallinta osoittautui alussa hankalaksi. Kone saattoi tehdä ei haluttuja liikkeitä työstöratojen välissä, jotka törmäsivät joko kappaleeseen tai itse koneeseen. Tämäkin ongelma johtui kuitenkin postatusta ohjelmasta ja se voitiin ratkaista Mastercamin puolella muuttamalla työstöratojen suuntia tai suojaetäisyyksien arvoja.

Laboratoriotöitä suunniteltaessa mallinnettiin monia erilaisia harjoituskappaleita. Nämä harjoituskappaleet ovat myös mahdollisia tulevia laboratoriotöitä ja ne jäävätkin Hämeen

ammattikorkeakoulun käyttöön jatkoa varten. Nämä harjoituskappaleet ovat step malli muodossa ja niihin ei aikataulun puitteissa keretty suunnittelemaan työstöratioja. Ne on kuitenkin suunniteltu siten, että niissä voidaan hyödyntää koululta löytyviä aihioita, käyttäen moniakselista työstöä ja ne voidaan valmistaa Pocket NC-koneella.

Laboratoriotöiden tekemisen mahdollistamiseksi laadittiin myös Pocket NC-koneen työkalukirjasto Mastercam ohjelmistolle, Pocket NC konesimulointiohje Mastercam ohjelmistolle, joka löytyy liitteestä 3, Pocket NC nollapisteen asetus ohje, joka löytyy liitteestä 4 ja Pocket NC simulator käyttöohjeet, joka löytyy liitteestä 5.

Valmis työkalukirjasto helpottaa ja nopeuttaa työstöratiojen suunnittelun aloitusta, kun kaikkia työkaluja ei tarvitse tehdä Mastercamiin, vaan voidaan ladata valmis kirjasto. Pocket NC konesimuloinnin lisääminen Mastercam ohjelmistoon oli prosessi, josta ei ollut ohjeita sen kuitenkin ollessa suhteellisen hyödyllinen koneiden käytössä. Pocket NC nollapisteen asetus, sekä simulator käyttöohjeet voidaan löytää Penta machine Companyn sivuilta pienellä työllä. Tämä kuitenkin vaatii sen, että tietää mistä etsiä. Ohjeet olivat myös pitkiä ja sekavia, sekä saatavilla vain englanniksi, joten oli järkevää tehdä yksinkertaiset ohjeet, jotka löytyvät koneilta ja koneiden käyttöönotto yksinkertaistuu.

Lähteet

Maaranen, K. (2004). *Koneistustekniikat*. Werner Söderström Oy.

Heinonen, M. & Kalliolahti, J. (2020). *Koneistustekniikka*. Sanoma Pro Oy.

Vesamäki, H. (2014). *Lastuavan työstön NC-ohjelmointi*. Teknologiainfo Teknova Oy.

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

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. (2010). *Konetekniikan perusteet*. WSOYpro Oy.

CloudNC. (10.11.2020). *What's the difference between 3-axis, 4-axis & 5-axis miling?*.

Haettu 27.10.2023 osoitteesta <https://www.cloudnc.com/blog/cnc-best-practices-3-whats-the-difference-between-3-axis-4-axis-5-axis-milling>

Koneistajaksi.fi. (n.d.). *Mitä koneistaminen on?* Haettu 28.10.2023 osoitteesta

<https://www.koneistajaksi.fi/mita-koneistaminen-on>

Penta Machine Company. (2020). *About Penta*. Haettu 29.10.2023 osoitteesta

<https://www.pentamachine.com/the-company>

Mastercam. (2023). *Company*. Haettu 29.10.2023 osoitteesta

<https://www.mastercam.com/company/>

Valmistajat.fi. (n.d.). Teollinen metallintyöstöprosessi jyrsinterällä [kuva].

<https://valmistajat.fi/menetelmat/koneistus/jyrsinta>.

Oy Torafors ab. (n.d.) Jyrsinkone F50I [kuva].

<https://www.torafors.com/product/1146/jyrsinkone-f50i>.

MillsCNC. (n.d.) 5-akselinen NC työstökone [kuva]. [https://www.millscnc.co.uk/cnc-](https://www.millscnc.co.uk/cnc-machines/machining-centres/vertical-5-axis-machining-centres/)

[machines/machining-centres/vertical-5-axis-machining-centres/](https://www.millscnc.co.uk/cnc-machines/machining-centres/vertical-5-axis-machining-centres/)

Engineering at alberta. (n.d.) Polynominen interpolointi [kuva]. [https://engcourses-](https://engcourses-uofa.ca/introduction-to-numerical-analysis/polynomial-interpolation/)

[uofa.ca/introduction-to-numerical-analysis/polynomial-interpolation/](https://engcourses-uofa.ca/introduction-to-numerical-analysis/polynomial-interpolation/)

Marti Deans. (8.4.2021) 3-akselinen ohjaus [kuva].

<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-coordinate-system-made-easy/>

IQSdirectory. (n.d.) 5-akselinen ohjaus [kuva]. <https://www.igsdirectory.com/articles/cnc-machining/5-axis-cnc-machining.html>

Liite 1. Laboratoriotyö 1

Pocket NC laboratoriotyö

Harjoitustyössä käytettävät valmistusmenetelmät: NC-jyrsintä

Harjoitustyössä käytettävät ohjelmistot: Mastercam, Pocket NC simulator, Pocket NC Kinetic Control

Yleistä

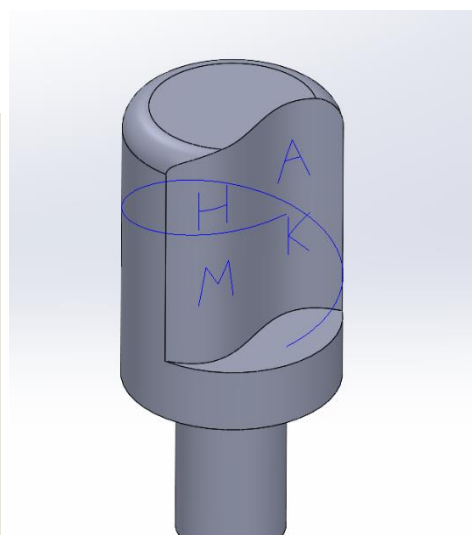
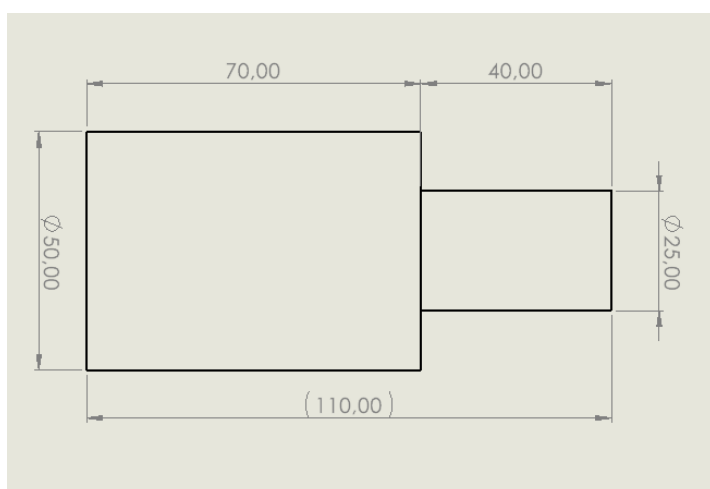
Harjoitustyössä laaditaan työstöradat koneistettavalle kappaleelle, jonka jälkeen se koneistetaan. Koneistettavan kappaleen geometria on suunniteltu siten, että siinä voidaan hyödyntää moniakselista työstöä. Mastercam ohjelmistolla on mahdollista suunnitella moniakselisia työstörotoja. Kappaleen koneistus simuloidaan ennen varsinaista valmistusta. Kappaleen aihio valmistetaan 50 mm muovitangosta. Muovitangon toisesta päästä sorvataan 40 mm matkalta halkaisijaksi 25 mm, jotta aihio voidaan kiinnittää Pocket NC koneeseen.

Työvaiheet:

1. Vie malli STEP muodossa Mastercamiin (harjoitus_9_sylinteri_muokattu)
2. Valitse työstökoneeksi Pocket NC V2
3. Aseta kappaleelle aihio
4. Suunnittele työstöradat ja valitse käytettävät työkalut (multisurface ja unified hyvä aloittaa)
5. Simuloi kappaleen työstö sim.pocketnc.com
6. Jos simulointi näyttää järkevältä, aseta koneeseen nollapiste, sekä oikea työkalu ja aloita ohjelman ajo ilman aihiota.
7. Kun ohjelma on ajettu koneessa onnistuneesti ilman aihiota, voidaan aihio asettaa koneeseen ja ajaa ohjelma.

Aihio:

Laboratoriotyö:



Liite 2. Laboratoriotyö 2

Pocket NC laboratoriotyö

Harjoitustyössä käytettävät valmistusmenetelmät: NC-jyrsintä

Harjoitustyössä käytettävät ohjelmistot: Mastercam, Pocket NC simulator, Pocket NC Kinetic Control

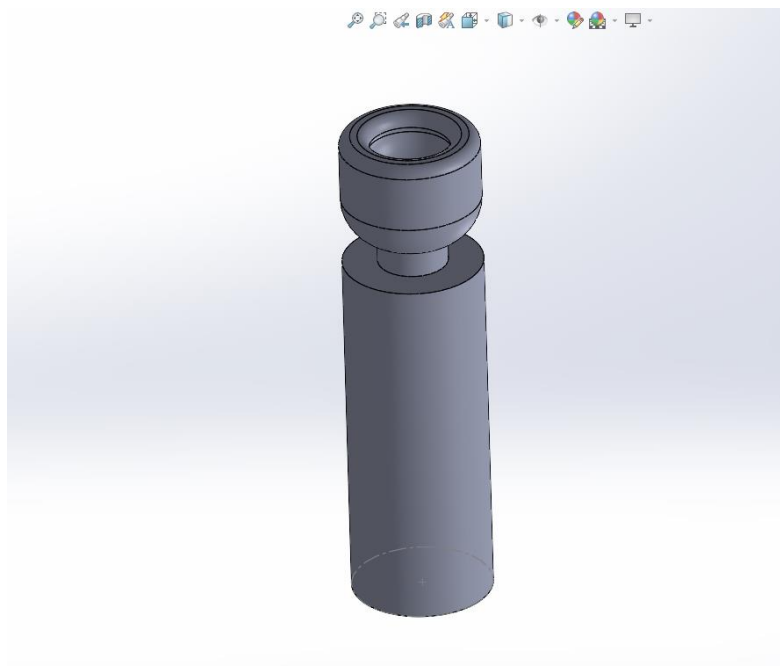
Yleistä

Harjoitustyössä laaditaan työstöradat koneistettavalle kappaleelle, jonka jälkeen se koneistetaan. Koneistettavan kappaleen geometria on suunniteltu siten, että siinä voidaan hyödyntää moniakselista työstöä. Mastercam ohjelmistolla on mahdollista suunnitella moniakselisia työstörotoja. Kappaleen koneistus simuloidaan ennen varsinaista valmistusta. Kappaleen aihio valmistetaan 25 mm muovitangosta. Aihiolle ei ole tarvetta tehdä muita muokkauksia kuin katkaista sopivan pituinen kappale.

Työvaiheet:

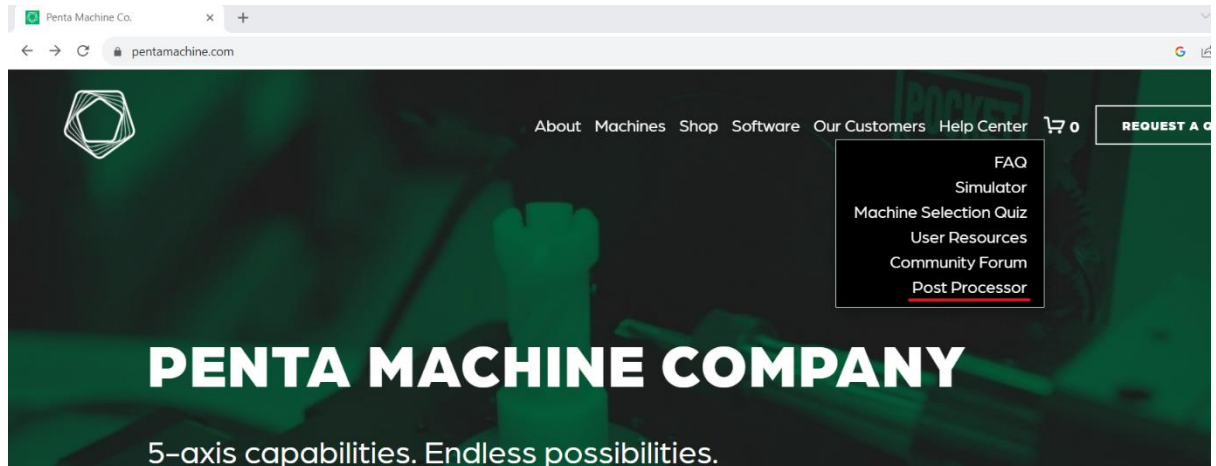
1. Vie malli STEP muodossa Mastercamiin (harjoitus_10_kulho)
2. Valitse työstökoneeksi Pocket NC V2
3. Aseta kappaleelle aihio
4. Suunnittele työstöradat ja valitse käytettävät työkalut (multisurface ja unified hyvä aloittaa)
5. Simuloi kappaleen työstö sim.pocketnc.com
6. Jos simulointi näyttää järkevältä, aseta koneeseen nollapiste, sekä oikea työkalu ja aloita ohjelman ajo ilman aihiota.
7. Kun ohjelma on ajettu koneessa onnistuneesti ilman aihiota, voidaan aihio asettaa koneeseen ja ajaa ohjelma.

Laboratoriotyö:



Liite 3. Pocket NC machine simulation Mastercamiin

1. Mene osoitteeseen <https://www.pentamachine.com/>
2. Valitse Help Center valikosta post processor



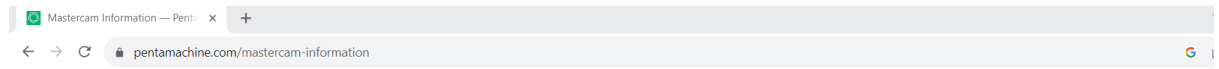
3. Mastercamin alta valitse post processor and other files

Post Processor — Penta Machine Co. | pentamachine.com/post-processor

Listed below are the CAM softwares known by Penta Machine Co. to have a post processor for the Pocket NC V2 machines. If the post processor is available for download, it will be linked below the CAM software.

- **Autodesk**
 - Works with Fusion 360, HSMWorks and FeatureCAM
 - Compatible with Kinetic Control
 - May work with other Autodesk products as well
 - Usually available within CAM software
- **Mastercam**
 - [Post processor and other files](#) (Version 1 and 2)
 - Compatible with Kinetic Control
- **DeskProto**
 - Works with DeskProto version 7.1 and higher
 - Requires Kinetic Control
 - For more information and tutorials, visit the [Pocket NC support page at DeskProto](#)
- **RhinoCAM** (MecSoft Corporation)
 - [Post processor](#) (Version 1 and 2)
- **CAMWorks and SolidWorks CAM**
 - [Post processor library](#)

4. Machine simulation alta valitse V2-10 and V2-50 Machine Simulation File. Tiedosto tulee lataukset kansioon.



To extract the contents of the mcam-content file:

1. Save the mcam-content file to your computer
2. Using Windows File Explorer, browse to this mcam-content file
3. Drag and drop this mcam-content file onto the Mastercam icon on your desktop, or onto the graphics area of Mastercam.

MACHINE SIMULATION

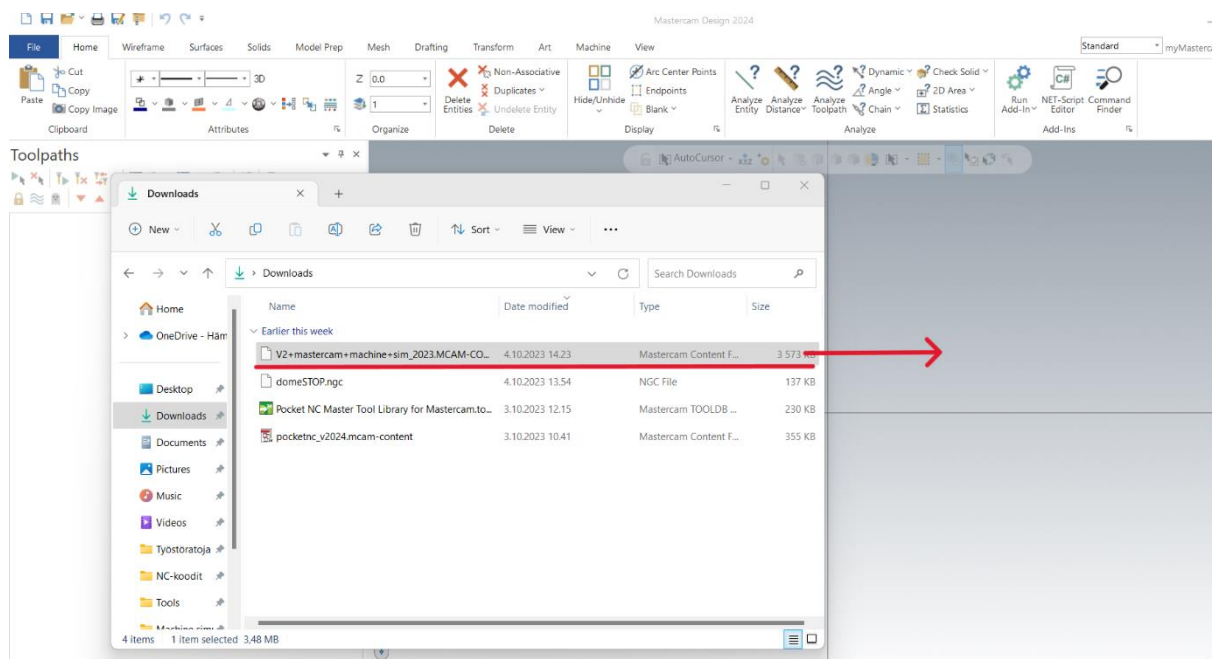
To run the Machine Sim click below to download all the files needed to run the machine simulation on your computer:

[V2-10 and V2-50 Machine Simulation File](#)

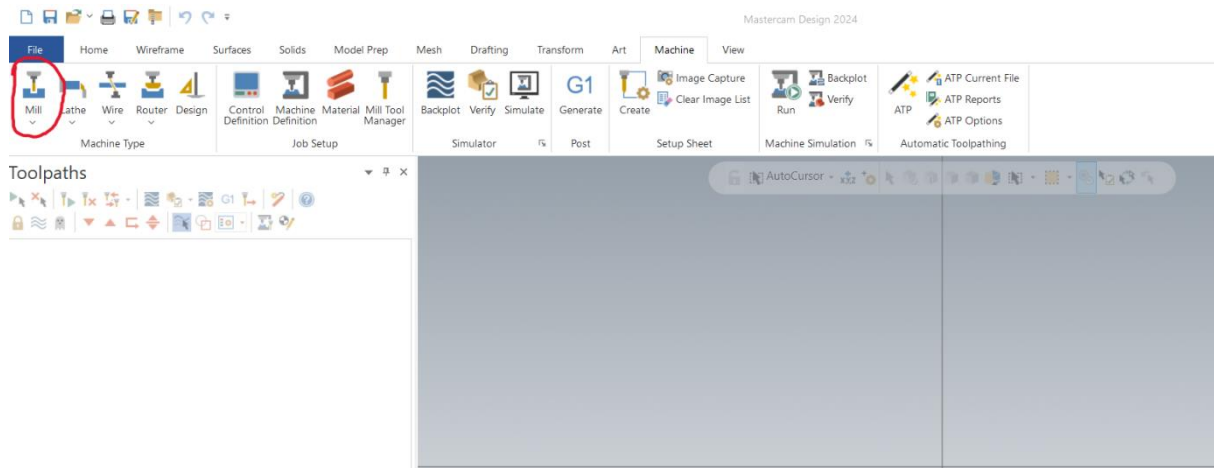
[V1 Machine Simulation File](#)

After downloading the appropriate file, install it using the mcam-content installation steps listed above.

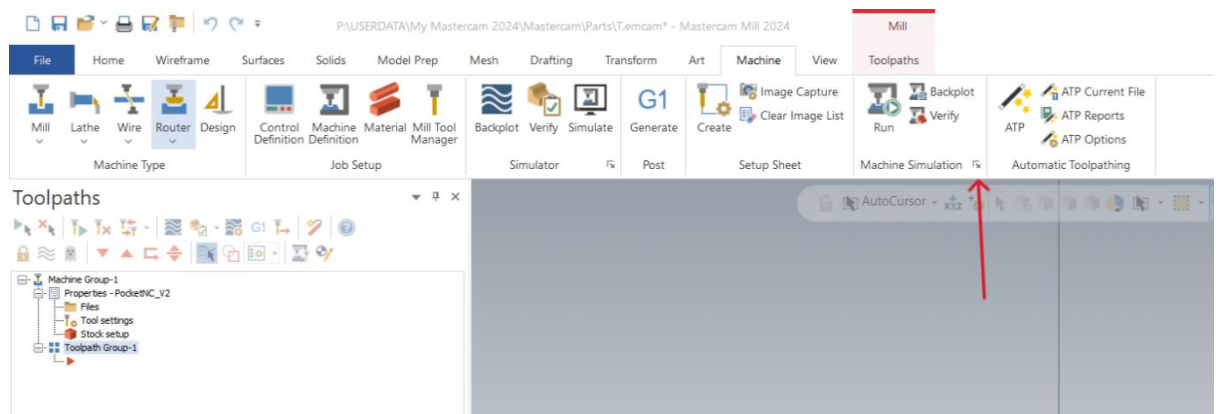
5. Avaa Mastercam ja raahaa ladattu tiedosto Mastercam ikkunaan



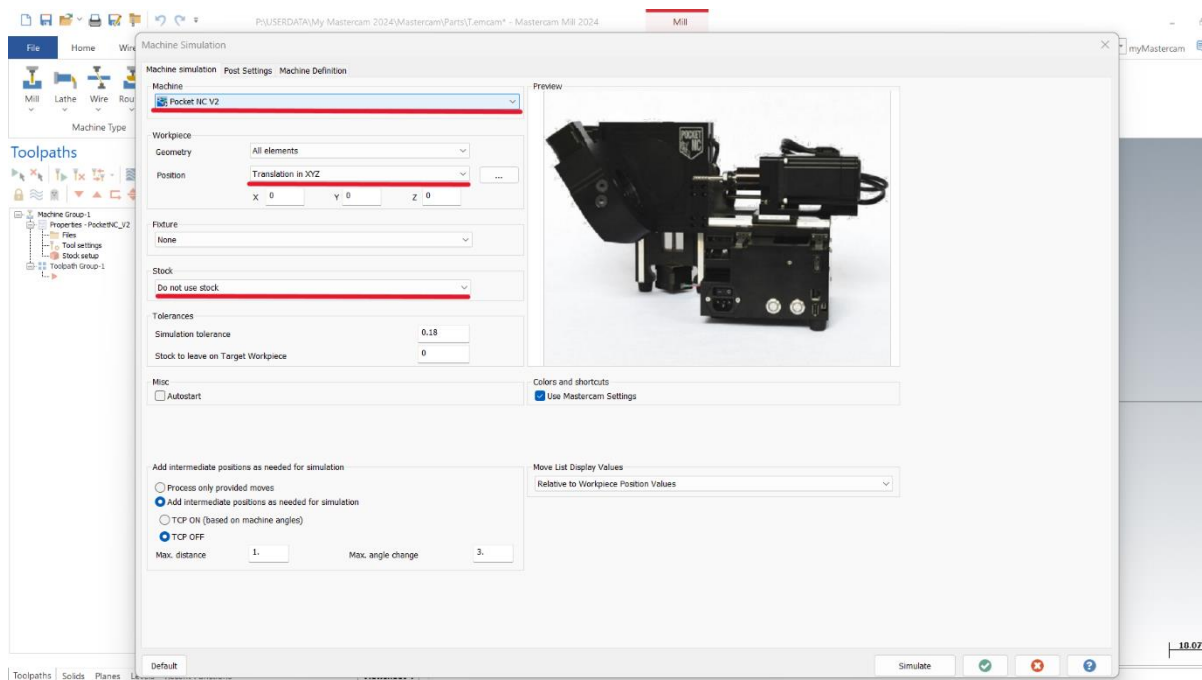
6. Valitse koneeksi Pocket NC V2



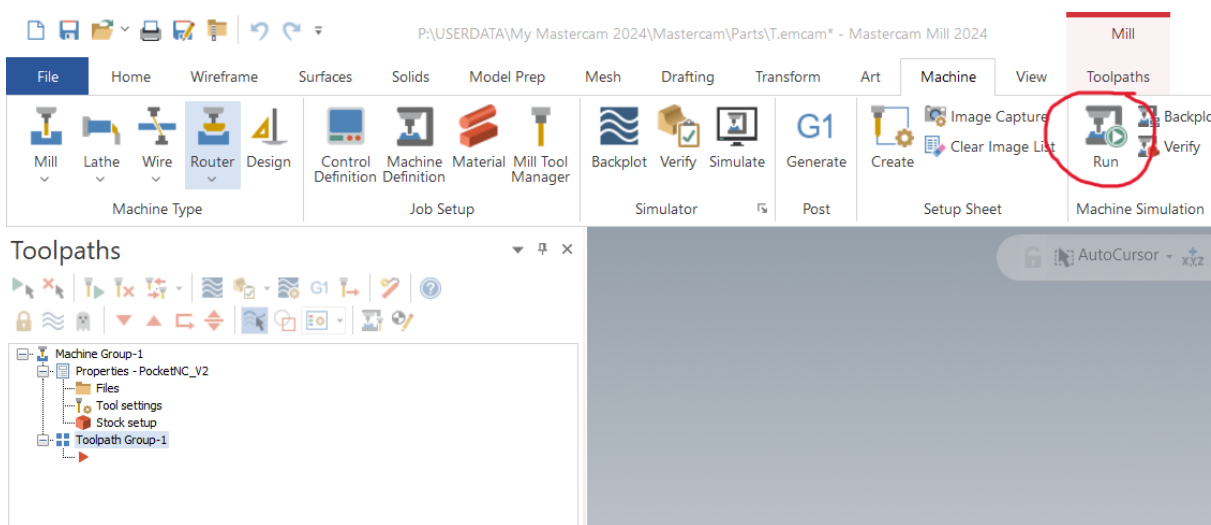
7. Avaa machine simulation asetukset nuolen osoittamasta paikasta



8. Valitse koneeksi Pocket NC V2 ja position Translate in XYZ. Aihion saa näkyviin simulaatioon Stock valinnasta. Tämän jälkeen hyväksy valinnat vihreästä merkistä.



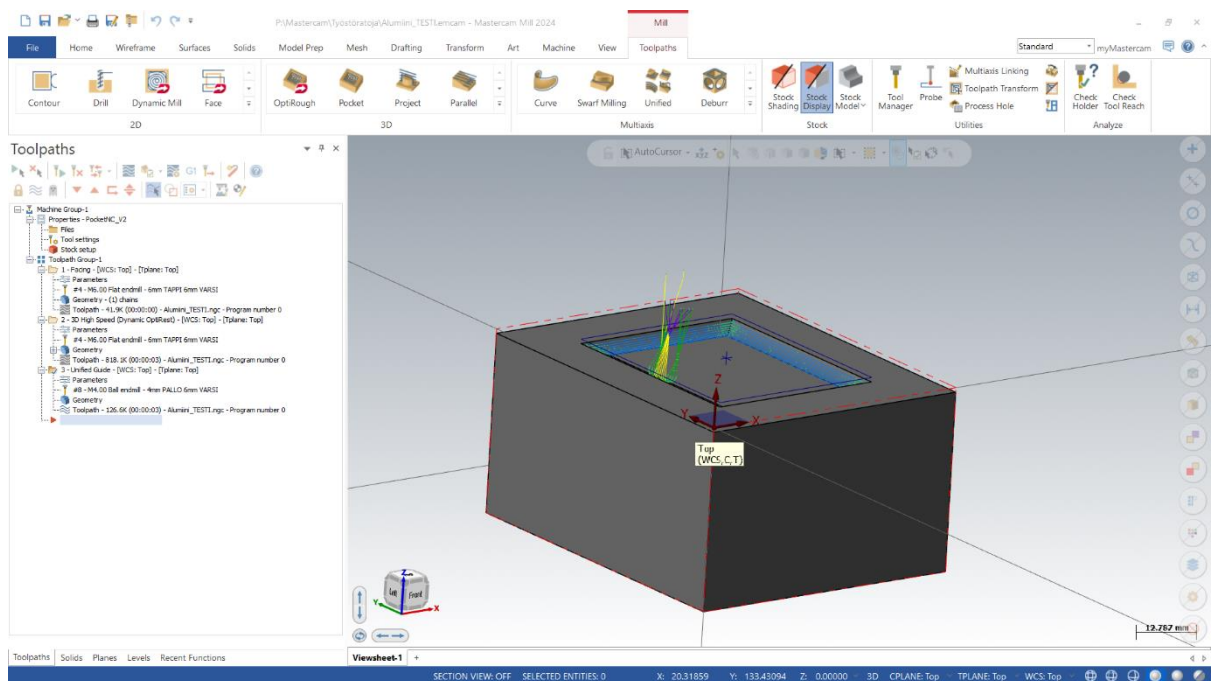
9. Kun työstöradat on tehty voidaan machine simulation aloittaa kuvan osoittamasta paikasta.



Liite 4. Nollapisteen asetus Pocket NC-koneelle

Tässä esimerkissä asetetaan nollapiste Pocket NC-koneelle suorakulmion malliselle kappaleelle. Nollapisteen ei tarvitse sijaita juuri kyseisessä paikassa vaan se voi sijaita valitsemassasi paikassa. Suorakulmion nurkka on helppo paikka määrittää nollapiste.

1. Kappaleen nollapiste asetetaan aihion ylänurkkaan Mastercamissa. Huomaa akseleiden suunnat, jotka eroavat koneen akseleiden suunnista.



2. Aseta Pocket NC-koneeseen käytettävä työkalu ja avaa kinetic control setup välilehti. Määritä TLO painamalla esimerkiksi T1 painiketta.

PENTA **KINETIC CONTROL**

SETUP **MANUAL** **PRODUCTION** **HISTORY** **CONFIG**

X	95.478 mm	=	63.500	-	-31.978	0.000	X	95.478 mm
Y	27.548 mm	=	63.500	-	35.952	0.000	Y	27.548 mm
Z	-40.440 mm	=	0.000	-	40.440	0.000	Z	-40.440 mm
A	0.000 deg	=	0.000	-	0.000	0.000	A	0.000 deg
B	0.000 deg	=	0.000	-	0.000	0.000	B	0.000 deg

0.001 mm

TOOL OFFSETS

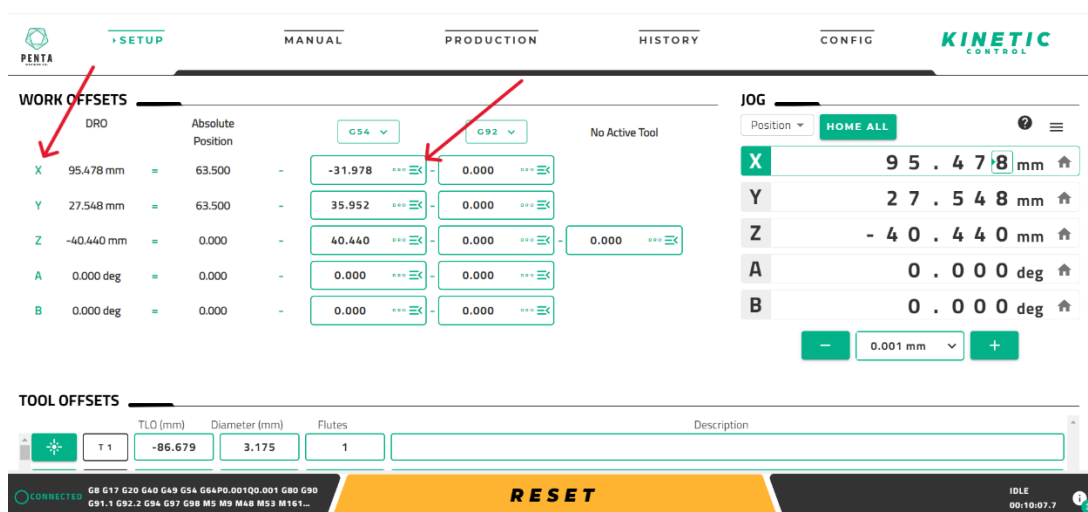
	Flute (mm)	Diameter (mm)	Flutes	Description
T 1	-86.679	3.175	1	
T 2	127.000	3.175	1	
T 3	127.000	3.175	1	

CONNECTED GB G17 G20 G40 G49 G54 G64P0.001Q0.001 G80 G90 G91.1 G92.2 G94 G97 G98 M5 M9 M48 M53 M161... **RESET** IDLE 00:10:07.7

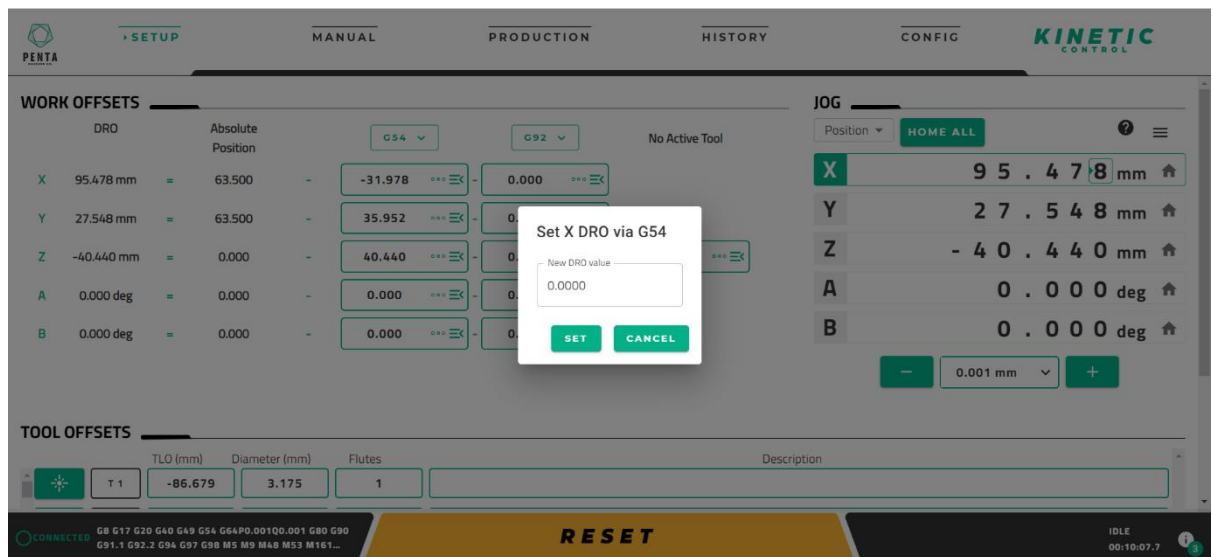
3. Aja akselit nolapisteisiin valitsemassasi järjestyksessä. Tässä esimerkissä aloitetaan X-akselista. Aja työkalun keskipiste koneen X-akselin suuntaiseen nolapisteeseen, tässä tapauksessa aihion kyljen linjaan.



4. Kun kone on oikeassa paikassa, paina X-akselin DRO asetus painiketta.



5. Avautuvassa ikkunassa aseta sen hetkinen työkappaleen nollapisteen koordinaatti, tässä tapauksessa 0 ja paina SET.



6. Aja työkalun keskipiste koneen Y-akselin suuntaiseen nollapisteeseen, tässä tapauksessa aihion pinnan linjaan.

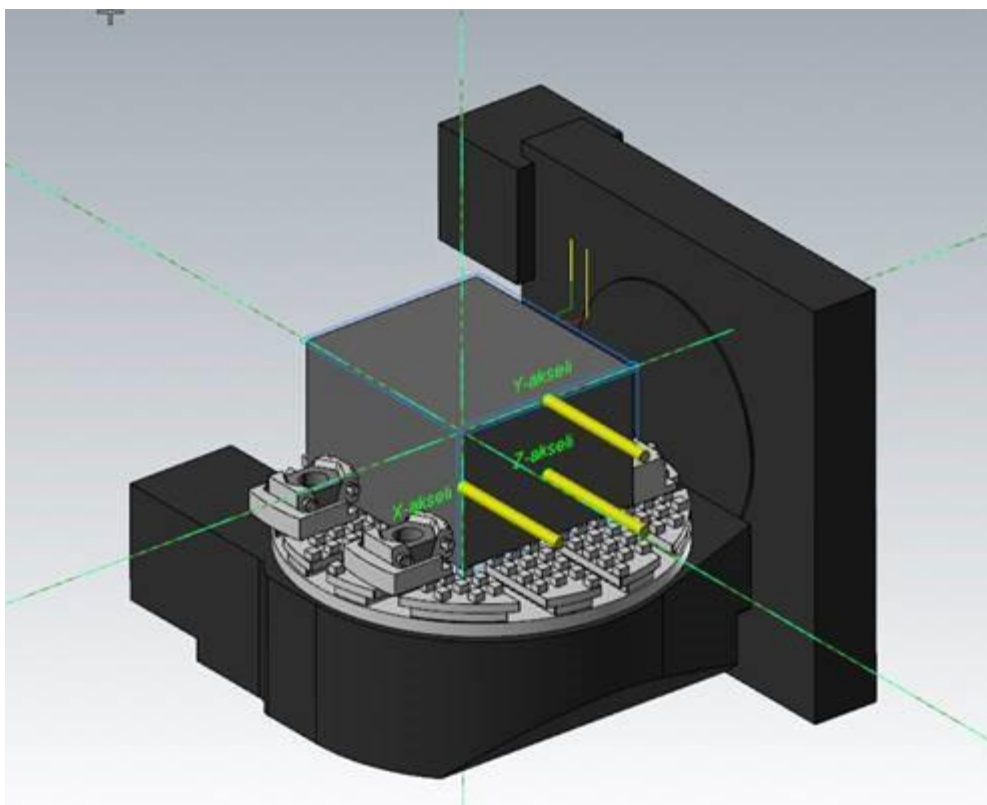
7.



8. Kun kone on oikeassa paikassa, paina Y-akselin DRO asetus painiketta. Löytyy samasta paikasta kuin aiemmin esitetty X-akselin DRO painike. Aseta arvoksi 0 ja valitse SET.
9. Aja työkalun keskipiste koneen Z-akselin suuntaiseen nollapisteeseen, tässä tapauksessa aihion karan suuntaisen kyljen pintaan.



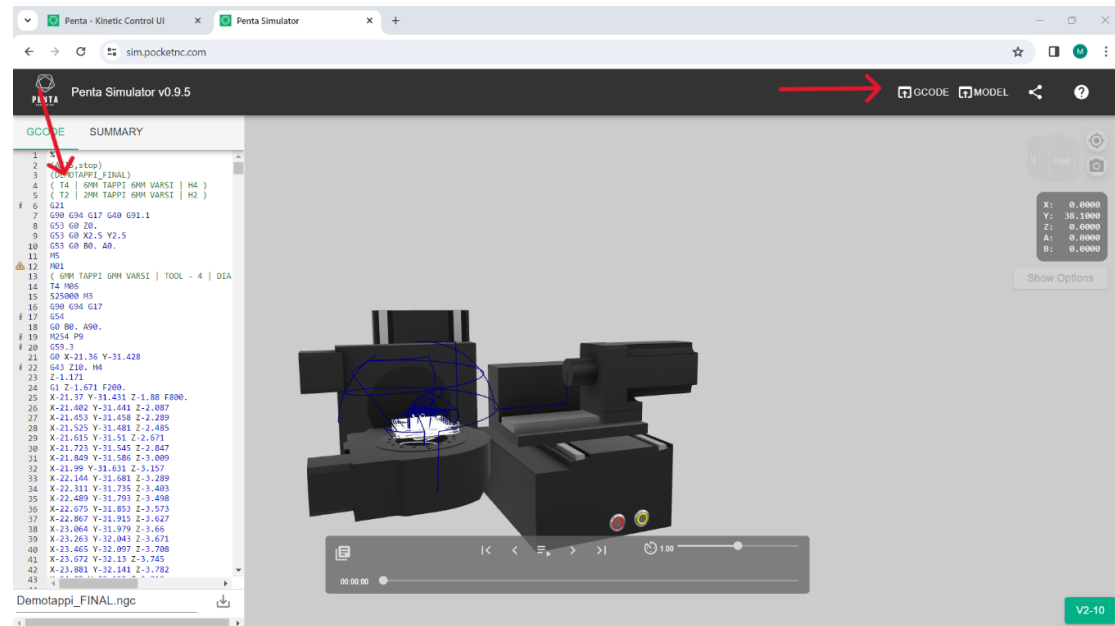
10. Kun kone on oikeassa paikassa, paina Z-akselin DRO asetus painiketta. Löytyy samasta paikasta kuin aiemmin esitetty X-akselin DRO painike. Aseta arvoksi 0 ja valitse SET.
11. Kappaleen nollapiste on nyt asetettu ja G54 ruutuihin on ilmestynyt arvot, jotka vastaavat etäisyyttä koneen omasta nollapistestä. Kopioi nämä arvot, sekä TLO, simulaattoriin ja tarkasta, että ohjelma toimii halutulla tavalla. (sim.pocketnc.com)



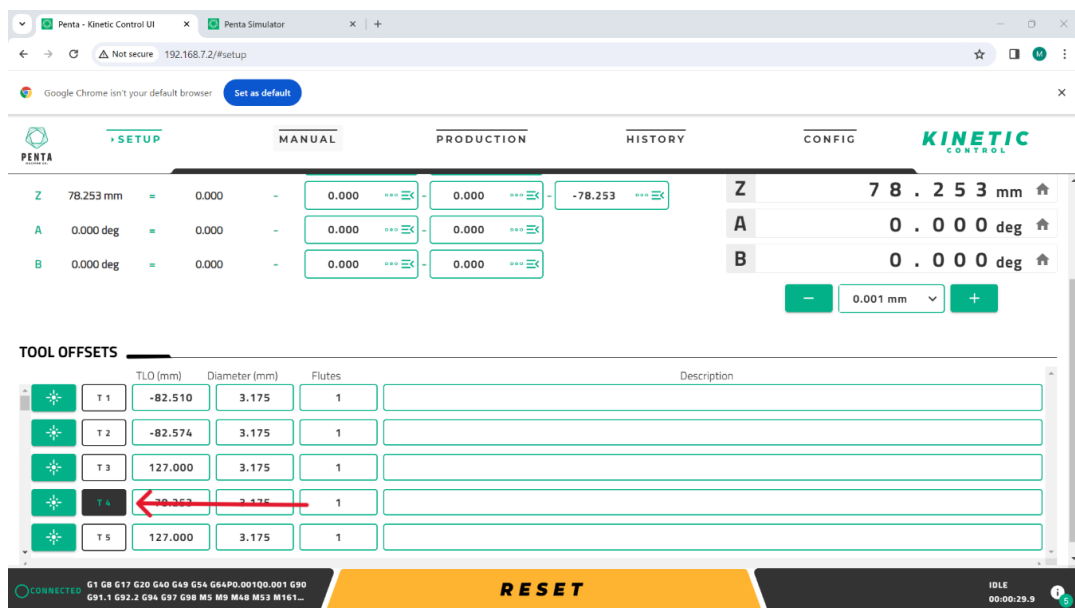
(Kuva: Martin Balash, Zenex Computing Oy)

Liite 5. Pocket NC simulator ohjeet

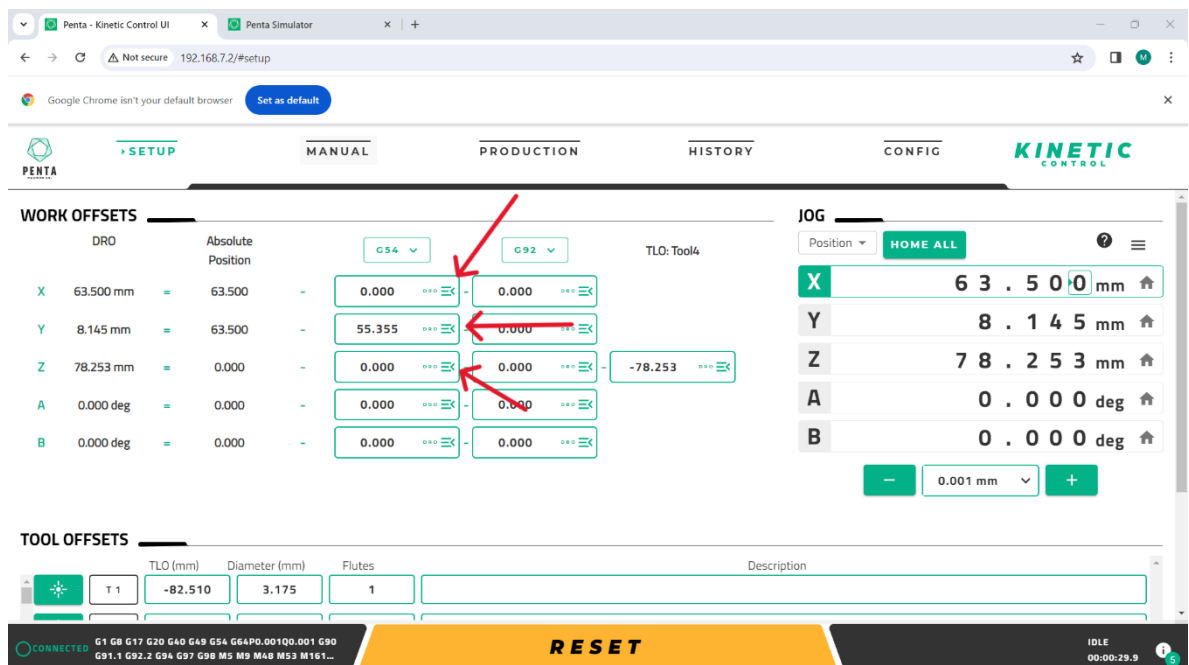
1. Lataa ajettava tiedosto Pocket NC simulaattoriin sim.pocketnc.com ja tarkasta ensimmäisenä käytössä olevan työkalun numero.



2. Aseta oikea työkalu koneeseen ja sen jälkeen valitse työkalunumeroa vastaava TLO valinta painike Pocket NC koneen kinetic control hallintapaneelista setup sivulta. Kone mittaa nyt työkalun ja asettaa TLO:n. TLO lukema päivittyy setup sivulle TLO kohtaan.



3. Aja kone yksi akseli kerrallaan ohjelman nollapisteeseen ja aseta nollapisteen koordinaatit G54 valikon alapuolelle painamalla kunkin akselin DRO näppäintä. Ota huomioon onko nollapisteesi asetettu Mastercamissa aihion pinnalle vai johonkin muualle. (Katso erillinen ohje nollapisteen asettamisesta)



4. Kopioi G54 valikon alapuolelle ilmestyneet arvot ja TLO arvo, simulaattorin summary välilehdelle. Simuloinnin täytyy olla stopilla, jotta voit syöttää arvoja tai muokata G-koodia. Syötettyäsi arvot valitse run program, jolloin simulaattori lataa ohjelman syöttämilläsi arvoilla. Joissain tapauksissa ohjelma täytyy pysäyttää stopilla ja painaa run program uudestaan, jotta se toimii halutulla tavalla.

