

Toni Tervo

PRO ENGINEERIN NC-OHJELMOINTI

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Elektroniikan tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Kevät 2003



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

INSINÖÖRITYÖ TIIVISTELMÄ

Osasto Tekniikka	Koulutusohjelma Elektroniikan tuotantotekniikka
Tekijä(t) Toni Tervo	
Työn nimi Pro Engineerin NC-ohjelmointi	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Elektroniikan tuotanto	Ohjaaja(t) Eero Pikkarainen
Aika Kevät 2003	Sivumäärä 52
Tiivistelmä <p>Insinööriyön ensisijaisena tavoitteena oli selvittää NC-ohjelman luonti Pro Engineerillä ja dokumentoida prosessi. Työssä tutustuttiin Pro Engineerin Manufacture-toimintoon, jonka avulla työstöratojen määrittely sekä niiden simulointi on mahdollista. Toissijaisena tavoitteena oli luoda NC-ohjelma valitulle kappaleelle ja yrittää koneistaa se koulun NC-koneella.</p> <p>Työssä selvitettiin NC-ohjelman luonnin kaikista vaiheista tärkeimmät asiat toimivan ohjelman luomiseksi. Ensimmäisessä vaiheessa työtä tutustuttiin ohjelmaan ja kerättiin tietoa sekä kirjoista, että käyttöohjeesta. Toisessa vaiheessa selvitettiin NC-ohjelman luominen alusta loppuun ja tutkittiin eri asetusten vaikutus lopputulokseen. Viimeisessä vaiheessa valittiin esimerkkikappale, jolle luotiin työstöradat ja yhdistettiin ne yhdeksi tiedostoksi.</p> <p>Työn tuloksiksi saatiin kattava ohje Pro Engineerin Manufacture toiminnon käyttämisestä ja NC-ohjelman luomisesta. Työn pohjalta on mahdollista opetella NC-ohjelman luonnin tärkeimmät vaiheet, jonka jälkeen on helppo tutustua kaikkiin pieniin yksityiskohtiin, joita Pro Engineer sisältää.</p>	
Luottamuksellinen Kyllä Ei X	
Hakusanat Pro Engineer, NC-ohjelmointi	
Säilytyspaikka	



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

Kajaani Polytechnic

**ABSTRACT
FINAL YEAR PROJECT**

Faculty Faculty of Engineering	Degree programme Production Engineering
Author(s) Toni Tervo	
Title NC-Programming with Pro Engineer	
Optional professional studies Production engineering in electronics	Instructor(s) / Supervisor(s) Eero Pikkarainen
Date Spring 2003	Total number of pages 52
Abstract <p>The primary purpose of this final year project was to become familiar with the manufacturing process of Pro Engineer and to document the process of creating an NC-program. The secondary purpose was to create an NC-program for an example part and try machine it if possible. The machining of the example part was dependent on finding an appropriate postprocessor.</p> <p>Pro Engineer is a 3D-modeling program. Parts modeled with Pro Engineer can be machined by an NC-machine. It is possible to create a file with Pro Engineer that contains all information needed to machine a part with an NC-machine. The first part of this project was to find information and manuals about using Pro Engineer and generally become familiar with this program. After getting familiar with the program, the whole process of creating an NC-program was learned. Finally, an example part was chosen and an NC-program was created for it.</p> <p>The results of this project were extensive documentation about NC-programming with Pro Engineer. These results are planned to be used as training material in the future. A suitable postprocessor was also found and the example part could be machined after the slight modification of the created NC-program.</p>	
Confidential Yes No X	
Keywords NC-programming, Milling, CL-Data, NC-sequence	
Deposited at	

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 TIETOKONEAVUSTEISEN NC-OHJELMOINNIN VAIHEET	9
2.1 Geometrian luonti	10
2.2 Työstöratojen muodostaminen	10
2.3 CLDATA-tiedoston muodostaminen	10
2.4 Postprosessoriajo	10
2.5 Ohjelman siirtäminen koneelle	11
3 NC-OHJELMOINTIYMPÄRISTÖN LUOMINEN	12
3.1 Koneistettavan kappaleen ja aihion mallinnus	13
3.2 Työkappaleen ja aihion suhteellinen sijoitus	14
3.3 NC-ohjelmoinnin asetukset	15
3.4 Koordinaatiston määrittäminen	16
4 KONEISTUSPARAMETRIT	18
4.1 Yksiköiden muuttaminen manuaalisesti	18
4.2 Koneistusyksiköiden tietokannan luominen	19
5 TYÖKALUKIRJASTON LUOMINEN	20
6 JYRSINNÄN TYÖSTÖRATOJEN OHJELMOINTI	22
6.1 Profiilin jyrsintä	22
6.2 Taskun jyrsintä	24
6.3 Poraus	26
6.4 Kolmiulotteisten pintojen jyrsintä	28
7 TYÖSTÖRATOJEN SIMULOINTI	32
7.1 Työkalun liikkeen simulointi	32
7.2 Materiaalin poiston simulointi	34
8 CLDATA-TIEDOSTOT	37
9 KÄYTÄNNÖN TESTIT	39
9.1 Työstöratojen luonti	41
9.2 Työstöratojen yhdistäminen ja tarkistaminen	43
9.3 Kappaleen muokkaus	44

9.4 Postprosessoriajo	45
9.5 NC-ohjelman muokkaus	47
9.6 Kappaleen koneistus	48
10 YHTEENVETO.....	51

LÄHDELUETTELO

KÄYTETYT TERMIT

BROACH, REAMER = Väljennin

CENTER DRILL = Keskiöpora

CL DATA = Cutter Location data, ASCII muodossa oleva tieto työstöradasta.

END MILL = Varsijyrsin, otsajyrsin

NC-CHECK = Työstöradan simulointi, missä työkalun pyyhkäisyypinnan muodostama kappale esitetään värivarjostettuna.

NC SEQUENCE = Työstörata. NC-ohjelman osa, joka sisältää kaiken tarvittavan informaation yhden koneistuksen suorittamiseksi.

POSTPROSESSORI = Ohjelma, joka muuttaa CL-tiedostot NC-koneen ymmärtämään muotoon eli NC-ohjelmaksi.

REFERENCE PART = Valmistuskappale, jota käytetään vertauskohteena kun luodaan työstöratioja.

RETRACT PLANE = Nostotaso. Taso, johon työkalu nostetaan työstöradan suorituksen jälkeen.

TOOL PATH = Työkalun koneistuksen aikana suorittama liikekokonaisuus.

WORKPIECE = Aihio, josta valmistusoperaatioilla saadaan suunniteltu malli.

1 JOHDANTO

Tämä insinööri työ on tehty Kajaanin ammattikorkeakoululle ja tavoitteena on selvittää NC-ohjelmointi Pro Engineerillä ja luoda sen eri vaiheista riittävän yksityiskohtainen ohjeistus, jotta sitä voidaan käyttää itseopiskeluun tai opetusmateriaalina. Kajaanin ammattikorkeakoululle on hankittu tarvittavat lisenssit NC-ohjelmoinnin suorittamiseksi Pro Engineerillä, mutta vielä tätä mahdollisuutta ei ole saatu hyödynnettyä. Tähän mennessä NC-ohjelmointi onkin tapahtunut lähinnä MasterCam –ohjelmiston avulla, mutta tavoitteena on ollut NC-ohjelmointi mahdollisuuksien laajentaminen. Tavoitteena jatkossa on saada käynnistettyä NC-ohjelmoinnin opetus Pro Engineeriä käyttäen. Työssä on tavoitteena myös selvittää luodun NC-ohjelman postprosessointi ja sen vienti koulun Numo 5 –jyrsinkoneelle. Tarkoituksena on myös tutkia mahdollisimman monien eri muotojen koneistamisen onnistuminen Numo 5 –koneella.

NC-ohjelmointi tarkoittaa sellaisen numeerisen tiedon eli ohjelman luomista, jolla voidaan automatisoida sekä ohjata yhtäjaksoisesti työstökoneen työstö- ja pikaliikkeiden, työkalunvaihdon sekä työstöön ja työkappaleen käsittelyyn liittyviä toimintoja. [1, s. 120]

Ohjelman luonnin vanhin tapa on käsinohjelmointi, jossa ohjelmointi suoritetaan suoraan työstökoneen koodikielellä. Hankalimmat muodot aiheuttavat sen, että koordinaattien laskenta on työlästä ja hidasta, sekä virheiden mahdollisuus kasvaa. Virheiden korjaus hidastaa lisää ohjelman tekoa ja osa virheistä saattaa edetä NC-koneelle saakka. Ohjelmoinnin hitauden ja CAD/CAM-järjestelmien yleistymisen myötä käsinohjelmointi onkin jäämässä pois. [1], [2]

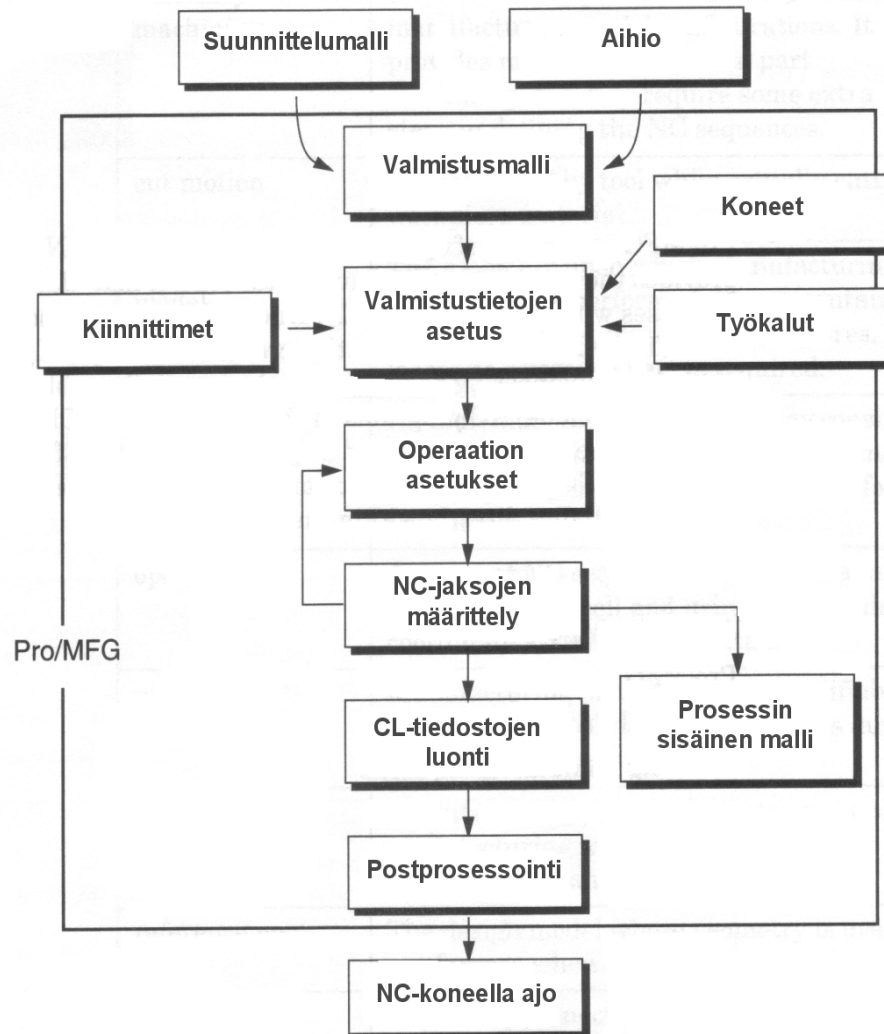
Nykyään koneistajan apuna on tietokoneavusteinen NC-ohjelmointi CAD/CAM-järjestelmässä. Kun CAD/CAM-järjestelmään on luotu kuva valmistettavasta kappaleesta, voi ohjelmoija määritellä työstöradat käyttäen hyväksi kuvan geometriatietoja. Tämä mahdollistaa hankalienkin muotojen nopean ohjelmoinnin ja näin ollen ohjelman luontiaika lyhenee sekä virheiden määrä vähenee. Myös virheellisten kappaleiden valmistus vähenee, koska työstöradat voidaan simuloida tietokoneella ennen varsinaista koneistusta. Tietokoneavusteinen NC-

ohjelmointi tarjoaa myös uusia mahdollisuuksia, koska monimutkaiset muodot, kuten matemaattiset käyrät ja kolmiulotteiset pinnat on mahdollista koneistaa. Myös tarkkuus ja laatu paranevat, koska tietokone hoitaa terän koordinaattien laskemisen. [2]

2 TIETOKONEAVUSTEISEN NC-OHJELMOINNIN VAIHEET

Tietokoneavusteinen NC-ohjelmointi koostuu useista eri vaiheista, joiden jokaisen huolellinen suorittaminen on lopputuloksen kannalta tärkeää.

NC-ohjelmoinnin eri vaiheet Pro/Engineeriä käytettäessä selviävät kuvasta 1.



Kuva 1. NC-ohjelmoinnin eri vaiheet Pro/Engineerissä.

2.1 Geometrian luonti

Ennen kuin kappaleelle voidaan alkaa luoda NC-ohjelmaa, on siitä luotava piirustus tai CAD-tietokanta. Mikäli NC-ohjelmointijärjestelmä ei suoraan pysty hyödyntämään piirustuksia tai CAD-geometriaa, joudutaan tarvittava määrä geometriaa kuvaamaan vielä NC-ohjelmointijärjestelmässä. [2]

2.2 Työstöratojen muodostaminen

Ennen työstöratojen muodostamista luodaan työkalut, joiden tarkkaa geometriatietoa tarvitaan simuloinnissa ja tietokoneen laskiessa työkalun ja kappaleen suhteellista asemaa. Työstöradat luodaan määrittelemällä tarvittavat koordinaatit kappaleen geometriasta. Työstöradat kannattaa luoda yksi kerrallaan ja jokaisen työstöradan valmistumisen jälkeen suoritetaan simulointi, jolloin tarkastetaan ja korjataan mahdolliset virheet. [2]

2.3 CLDATA-tiedoston muodostaminen

Työstöratojen luonnin jälkeen ne kaikki yhdistetään yhdeksi ohjelmaksi kappaleen työvaiheistuksen mukaiseen järjestykseen. Samalla muodostetaan CLDATA-tiedosto, joka on yleiskielinen välitiedosto, josta voidaan muodostaa postprosessoriajolla NC-ohjelma erilaisille NC-koneille. [2]

2.4 Postprosessoriajo

Postprosessoriajo tarkoittaa CLDATA-tiedoston käsittelemistä tietylle NC-koneelle soveltuvaksi NC-ohjelmaksi. Jokaiselle koneelle tarvitaan oma postprosessori, joka osaa muuttaa CLDATA-tiedoston juuri sen koneen hyväksymään ja ymmärtämään muotoon. On myös olemassa niin sanottuja yleisiä postprosessoreja, joiden toiminta perustuu tietyn valmistajan ohjausjärjestelmään. Jos käytetty NC-kone käyttää tällaista ohjausjärjestelmää, on

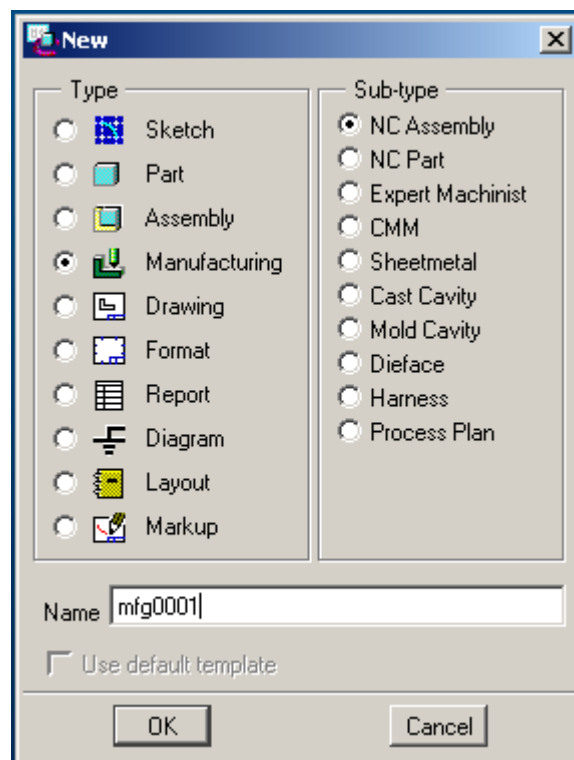
mahdollista, että ei tarvita omaa postprosessoria, vaan postprosessointi voidaan suorittaa postprossessorilla, joka on tarkoitettu tiettyä ohjausjärjestelmää käyttäville koneille. [2]

2.5 Ohjelman siirtäminen koneelle

Postprosessoinnin jälkeen CLDATA on ohjelmointijärjestelmän tiedostona oleva valmis NC-ohjelma, joka voidaan siirtää NC-koneelle käyttäen reikänauhaa tai tiedonsiirtoyhteyttä. Vanhemmissa koneissa on usein vielä käytössä reikänauha, jolloin on ensin muodostettava reikänauha tiedoston perusteella ja sen jälkeen luettava reikänauha NC-koneen muistiin. Jos on käytävissä tiedonsiirtoyhteys NC-koneen ja tietokoneen välillä, voidaan tieto kätevästi siirtää suoraan kaapelia pitkin NC-koneen muistiin. [2]

3 NC-OHJELMOINTIYMPÄRISTÖN LUOMINEN

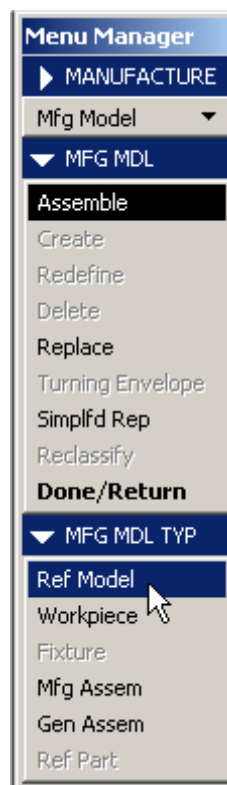
Ohjelmointiympäristöön siirrytään valitsemalla File-valikosta vaihtoehto New. Näytölle ilmestyy kuvan 2 mukainen valintaikkuna, josta valitaan Type-kohdasta Manufacturing, Sub-type-kohdasta NC Assembly ja annetaan projektille nimi. Tämän jälkeen painetaan OK ja päästään ohjelmointiympäristöön.



Kuva 2. NC-ohjelmointiympäristöön siirtyminen tapahtuu valintaikkunan avulla.

3.1 Koneistettavan kappaleen ja aihion mallinnus

Koneistettavan kappaleen mallinnus kannattaa tehdä ennen simulointiympäristöön siirtymistä. Koneistettavan kappaleen sijoitus tapahtuu valitsemalla kuvassa 3 näkyvästä Manufacture-valikosta Mfg Model, Assemble ja Ref Model. Aukeavasta valikosta etsitään aiemmin mallinnettu kappale ja valitaan Open.

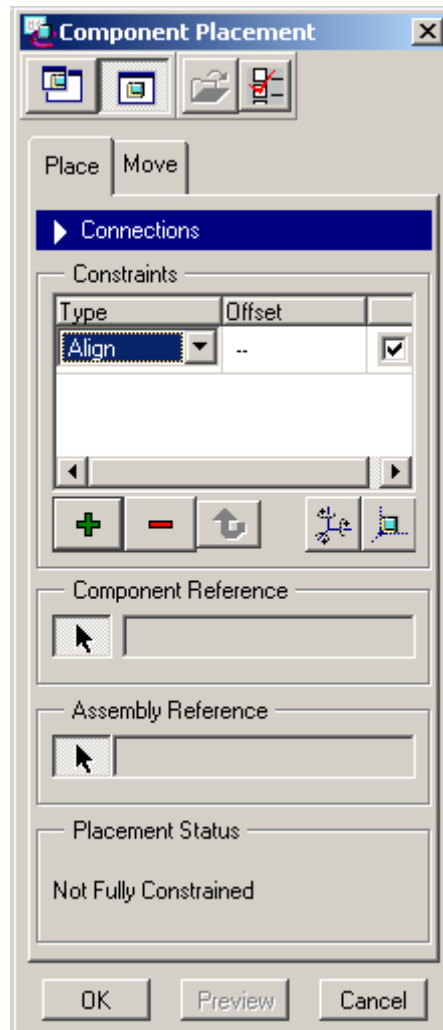


Kuva 3. Manufacture-valikon avulla valitaan halutut kappaleet.

Aihio voidaan joko luoda nyt tai asentaa aiemmin luotu aihio. Aihio luodaan valitsemalla Mfg Model valikosta Create ja Workpiece, jolloin päästään normaaliin kappaleen mallinnustilaan. Helpompaa on kuitenkin luoda aihio etukäteen koneistettavan kappaleen luonnin yhteydessä. Tällöin aihion sijoitus tapahtuu valitsemalla Assemble ja Workpiece.

3.2 Työkappaleen ja aihion suhteellinen sijoitus

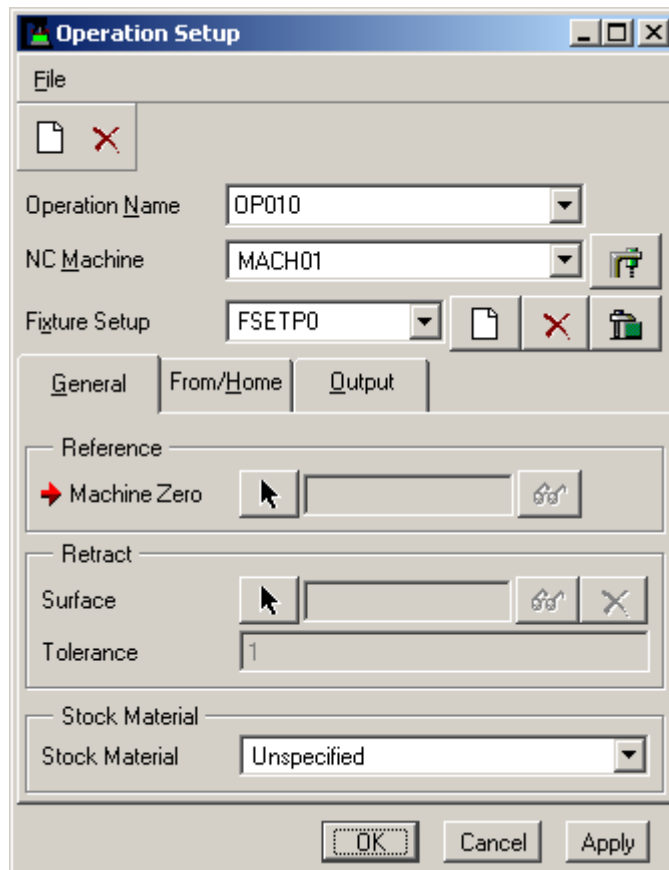
Kun koneistettava kappale ja aihio on valittu, ilmestyvät ne näytölle vierekkäin. Kuvan 4 mukaisen Component Placement -ikkunan avulla on määriteltävä kappaleiden sijainti niin, että ne ovat päällekkäin, jonka jälkeen valitaan OK.



Kuva 4. Component Placement -ikkunan avulla tapahtuu kappaleiden suhteellinen sijoitus.

3.3 NC-ohjelmoinnin asetukset

Operaation asetuksia päästään muokkaamaan valitsemalla Manufacture-valikosta Mfg Setup, jolloin avautuu kuvan 5 mukainen Operation Setup -ikkuna.

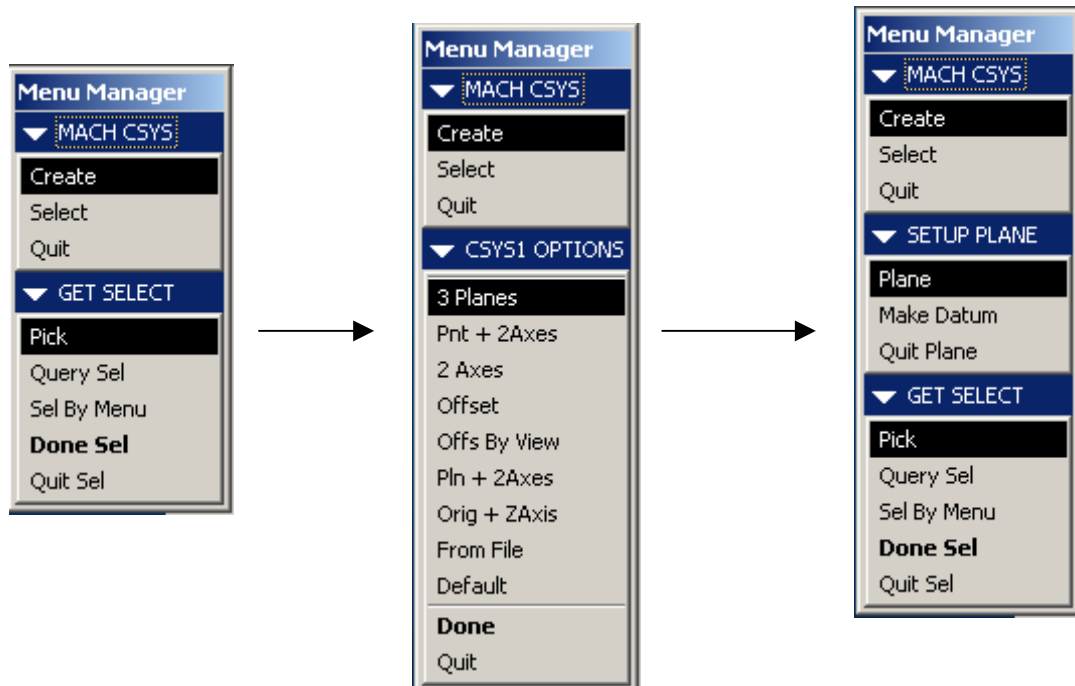


Kuva 5. NC-ohjelmoinnin asetukset määritellään Operation Setup -ikkunassa.

Operation Name -kohtaan annetaan haluttu nimi. NC-koneen valinta ja sen asetusten muokkaus tapahtuu valitsemalla NC Machine -kohdan vieressä oleva painike.

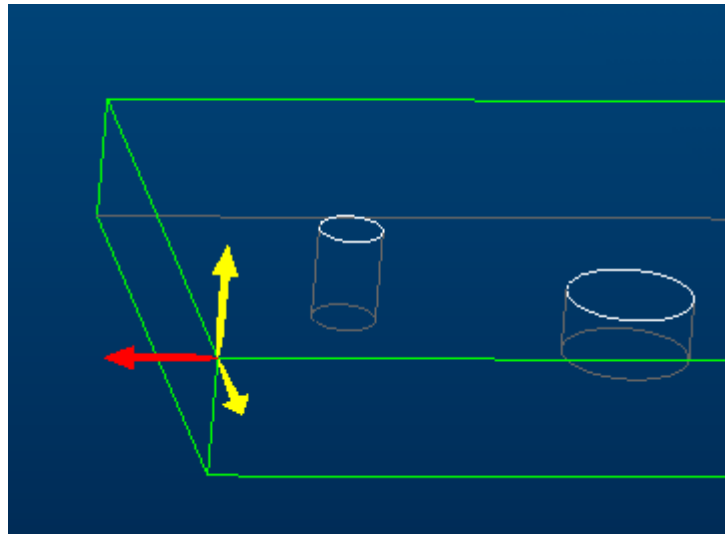
3.4 Koordinaatiston määrittäminen

Koordinaatiston luonti tapahtuu valitsemalla Operation-ikkunan Reference-kohdasta nuolipainike, jonka jälkeen kuvan 6 mukaisesta avautuvasta valikosta valitaan Create ja Pick. Seuraavaksi kuvasta näytetään kappale, jolle koordinaatisto halutaan luoda, jolloin avautuu CSYS1 OPTIONS -valikko. Valitaan 3 Planes ja Done.

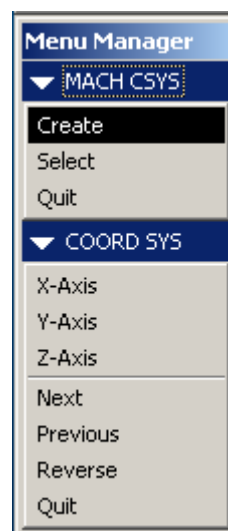


Kuva 6. Koordinaatiston määrittäminen

Seuraavasta ikkunasta valitaan Plane ja Pick, jonka jälkeen kuvasta näytetään kolme tasoa, joiden mukaan koordinaatisto halutaan luoda. Kun tasot on valittu, ilmestyy kuvaan kolme nuolta, jotka näyttävät X-, Y- ja Z-akselien suunnat, kuten kuvassa 7. Kuvassa 8 esitetyn valikon avulla voidaan valita akselien suunnat ja nimet halutuiksi. Next ja Previous-vaihtoehdoilla voidaan vaihtaa valittuna oleva nuoli, joka näkyy kuvassa punaisena. Valitsemalla Reverse voidaan nuolen suunta muuttaa vastakkaiseksi. Kun kaikki nuolet on saatu osoittamaan haluttuun suuntaan, valitaan X-Axis, Y-Axis tai Z-Axis, jolloin valittuna olleesta nuolesta tulee kyseinen akseli. Valitaan vielä toinen nuolista halutuksi akseliksi, jonka jälkeen ohjelma automaattisesti valitsee kolmannen akselin ja palaa Operation Setup -ikkunaan.



Kuva 7. Koordinaatiston määrittäminen kolmen tason avulla.



Kuva 8. Koordinaatiston määrittäminen

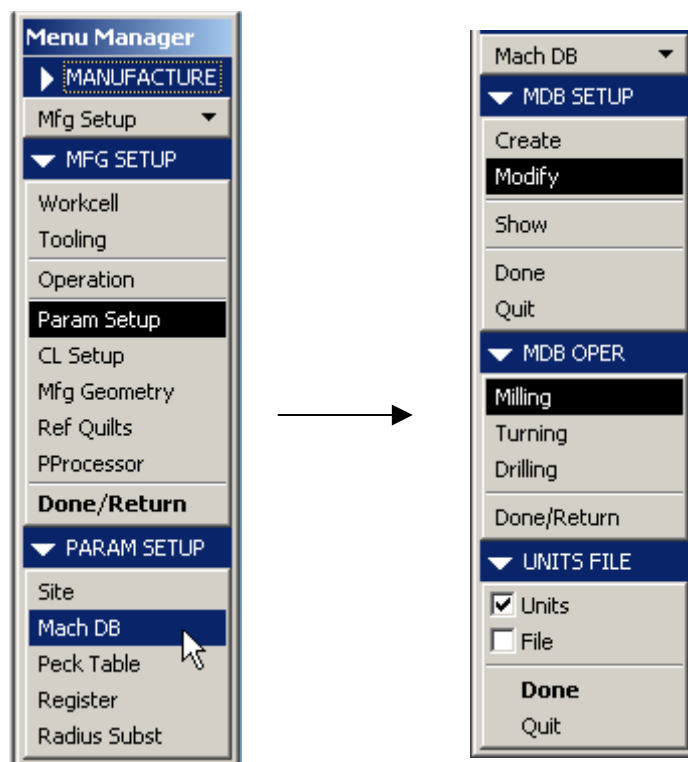
Nostotaso määritellään Retract-kohdasta valitsemalla nuolipainike ja avautuvasta valikosta Along Z Axis, jonka jälkeen syötetään haluttu arvo. Kun kaikki tarvittavat asetukset on tehty, valitaan OK.

4 KONEISTUSPARAMETRIT

Oletusarvoina eri syöttö- ja pyörimisnopeuksien yksiköiksi Pro Engineer käyttää tuumamitoitusta, ja yksiköt on vaihdettava, jos halutaan käyttää poikkeavia yksiköitä. Yksiköt joko muutetaan aina jokaisen operaation yhteydessä tai sitten voidaan luoda koneistusyksiköiden tietokanta, joka ladataan aina ohjelman käynnistyksen yhteydessä.

4.1 Yksiköiden muuttaminen manuaalisesti

Yksiköitä päästään muuttamaan valitsemalla kuvan 9 mukaisesta Manufacture-valikosta MFG Setup, Param Setup ja Mach DB.



Kuva 9. Yksiköiden muuttaminen

Avautuvasta MDB SETUP -valikosta valitaan Modify, jolloin avautuu MDB OPER -valikko. Seuraavaksi valitaan joko Milling eli jyrsintä, Turning eli sorvaus tai Drilling eli poraus, sen mukaan mitä yksiköitä halutaan muuttaa. Kun haluttu

vaihtoehto on valittu, ruksataan kohta Units ja valitaan Done, jolloin päästään valitsemaan käytettävät yksiköt.

4.2 Koneistussyksiköiden tietokannan luominen

Tietokannan luominen tapahtuu luomalla jokaiselle työstötavalle oma MDB-tiedosto, johon halutut yksiköt määritellään. MDB-tiedostojen luonti ei ole mahdollista ennen kuin on luotu tarvittavat hakemistot tietokantaa varten. Pro Engineerin asennushakemistoon luodaan kansio nimeltä mach_db, jonka alle luodaan vielä kansiot mill_db, turn_db ja drill_db. Jotta Pro Engineer osaisi käyttää luotuja tiedostoja on konfigurointitiedostoon Config.pro lisättävä merkintä hakemistosta. Tämä tapahtuu lisäämällä tiedostoon uusi rivi, jossa määritellään tietokannan sijainti, esimerkiksi:

```
pro_mdb_dir $PROLIB_DIRECTORY\user\mach_db
```

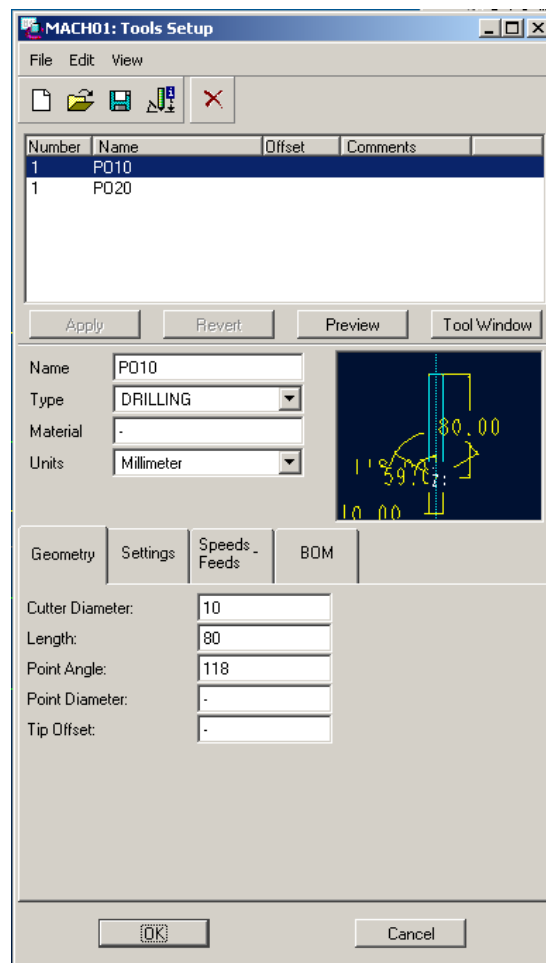
MDB-tiedoston luominen tapahtuu samasta valikosta kuin yksiköiden vaihtaminen, mutta valitsemalla File ja OK. Seuraavaksi annetaan luotavalle tiedostolle nimi, jonka jälkeen tiedosto avautuu ja yksiköt voidaan vaihtaa halutuiksi.

5 TYÖKALUKIRJASTON LUOMINEN

Ennen työkalukirjaston luomista on sitä varten luotava oma kansio ja viitattava tuohon kansioon Config.pro-tiedostossa. Luotavan kansion nimi voi olla esimerkiksi tool_library, jolloin Config.pro-tiedostoon lisätään seuraava rivi.

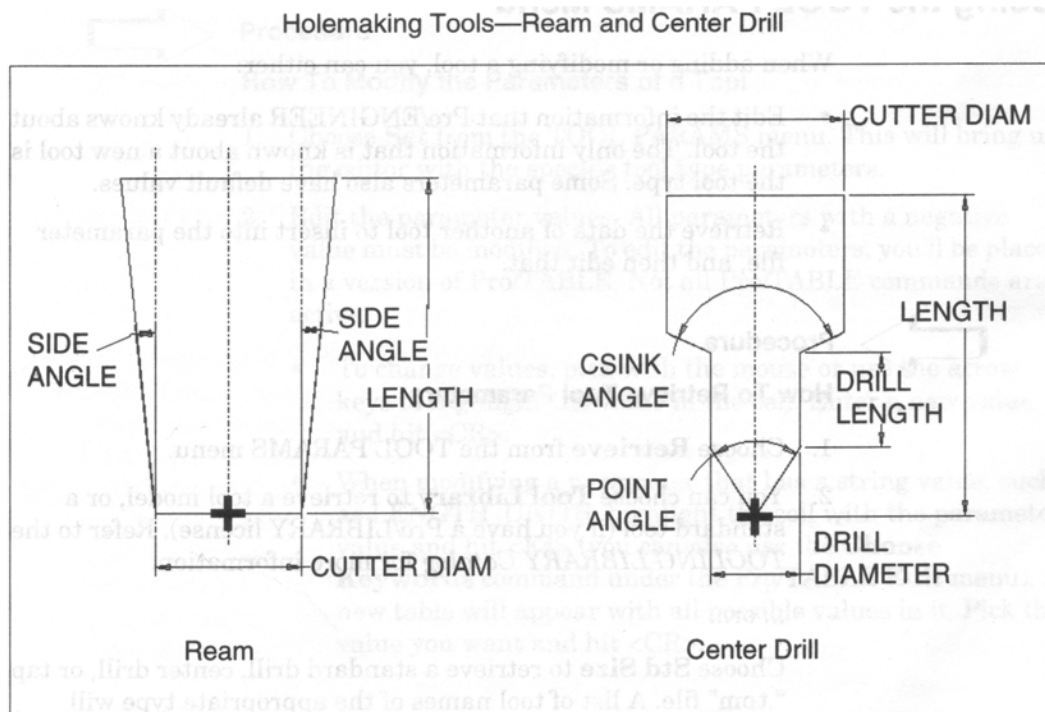
```
pro_mf_tprm_dir $PROLIB_DIRECTORY\user\tool_library
```

Työkalukirjaston luodaan valitsemalla Manufacture-valikosta Mfg Setup ja Tooling. Seuraavaksi valitaan, minkä koneen työkaluasetuksia halutaan muokata, jolloin avautuu kuvan 10 mukainen ikkuna. Koneen valinnassa ei ole väliä, mikä kone valitaan, mikäli on useampia vaihtoehtoja, sillä luodut työkalut ovat myöhemmin käytettävissä kaikissa tilanteissa.



Kuva 10. Tool Setup -ikkunan avulla voidaan luoda uusia työkaluja.

Avautuvassa Tool Setup -ikkunassa päästään määrittelemään työkaluille tarvittavat mitat ja asetukset. Type-kohdasta valitaan haluttu työkalu ja annetaan sille tarvittavat mitat. Kuvassa 11 on esimerkki työkaluille määriteltävistä mitoista.



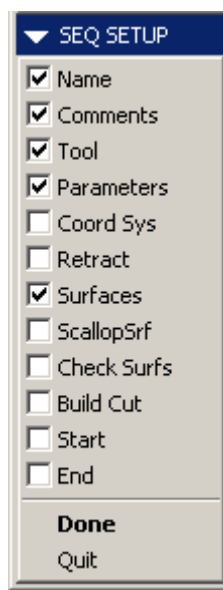
Kuva 11. Tarvittavat mitat väljentimelle ja keskiöporalle.

Kun kaikki työkalun asetukset on tehty, voidaan työkalu tallentaa kirjastoon valitsemalla File-valikosta Save tool. Jos työkalukirjaston sijainti on määritelty Config.pro-tiedostoon, tallentuu työkalu sinne ja muussa tapauksessa se tallentuu senhetkiseen työskentelyhakemistoon. Samalla kertaa voidaan luoda niin paljon työkaluja kuin halutaan, ja kun ne tallennetaan, ovat ne käytettävissä myös myöhemmin.

6 JYRSINNÄN TYÖSTÖRATOJEN OHJELMOINTI

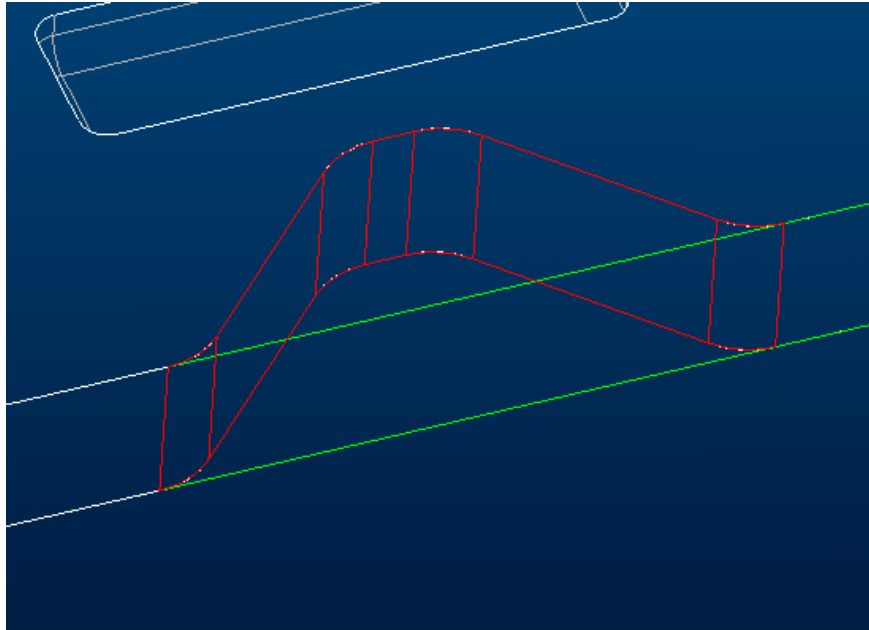
6.1 Profiilin jyrshintä

Profiilin jyrshintä alkaa valitsemalla Manufacture-valikosta Machining, NC Sequence, Profile ja Done. Kuvassa 12 näkyvästä Seq Setup valikosta valitaan, mitä asetuksia halutaan määrittellä.



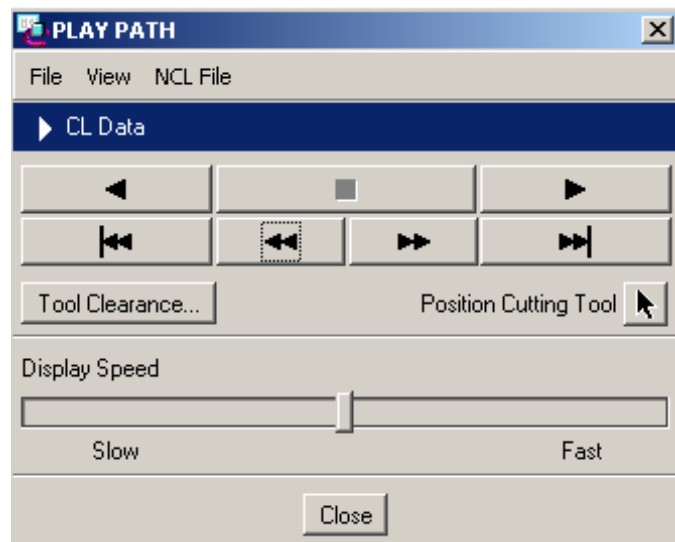
Kuva 12. SEQ SETUP –valikosta valitaan määriteltävät asetukset.

Kaikkia vaihtoehtoja ei tarvitse valita, koska ne on voitu jo määrittellä aiemmin. Valitsemalla Done päästään määrittelemään asetuksia. Ensimmäiseksi ohjelma kysyy nimeä työstöradalle, ja sen jälkeen voidaan lisätä kommentti avautuvaan ikkunaan. Tool Setup -ikkunassa voidaan luoda käytettävä työkalu tai hakea valmis työkalu kirjastosta. Seuraavaksi valitaan avautuvasta MFG Params -valikosta Set, jolloin päästään määrittelemään valmistusparametrejä. Eri kohtiin syötetään halutut arvot ja valitaan File-valikosta exit. Kohtiin, joissa on arvona -1, on annettava jokin arvo, muut voidaan jättää halutessa oletusarvoksi. Seuraavaksi valitaan Surf Pick -valikosta Model ja Done, jolloin voidaan kuvasta näyttää koneistettavat pinnat. Kun pinnat on näytetty kuvasta, kuten kuvassa 13, valitaan Done Sel.



Kuva 13. Pinnan valitseminen kuvasta.

Nyt kaikki tarvittavat tiedot profiilin koneistamiseksi on määritelty ja työkalun liikeradat voidaan katsoa valitsemalla NC Sequence -valikosta Play Path ja Screen Play. Valitsemalla kuvan 14 mukaisesta Play Path -ikkunasta Play Forward nähdään kuvasta simuloitut työkalun liikkeet.

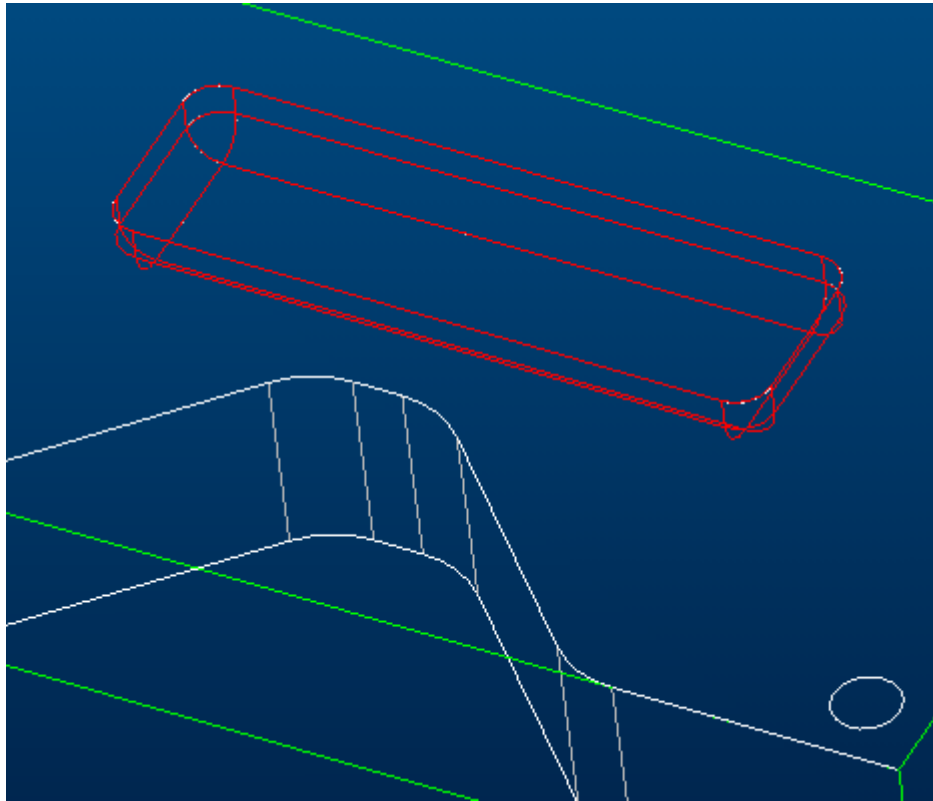


Kuva 14. Työstöradan simulointia ohjataan Play Path -ikkunan avulla.

Sulkemalla Play Path -ikkuna ja valitsemalla Done Seq on profiilin jyrästä määritelty kokonaisuudessaan ja voidaan alkaa määrittää mahdollisia muita työstöratioja.

6.2 Taskun jysintä

Taskun jysintä alkaa valitsemalla Manufacture-valikosta Machining ja NC Sequence. Mikäli aiemmin on luotu muita työstöratoja, avautuu NC SEQ LIST -ikkuna, josta valitaan New Sequence ja sen jälkeen Pocketing ja Done. Avautuvasta Seq Setup -ikkunasta valitaan, mitä asetuksia halutaan määrittellä. Ensin annetaan työstöradalle nimi ja halutessa myös kommentti. Tool Setup -ikkunassa luodaan käytettävä työkalu, tai se voidaan hakea työkalukirjastosta mikäli sellainen on käytettävissä. Kun käytettävä työkalu on määritetty, valitaan OK ja avautuvasta MFG Params -valikosta Set, jolloin päästään määrittelemään valmistusparametrejä. Eri kohtiin annetaan halutut arvot tai jätetään oletusarvot voimaan. Kohtiin, joissa oletusarvona on -1, on määriteltävä uusi arvo. Kun kaikki arvot on määritetty valitaan File-valikosta exit. Seuraavaksi valitaan Surf Pick -valikosta Model ja Done, jolloin voidaan kuvasta näyttää koneistettavat pinnat, kuten kuvassa 15 on tehty. Kun pinnat on näytetty, kuvasta valitaan Done Sel.

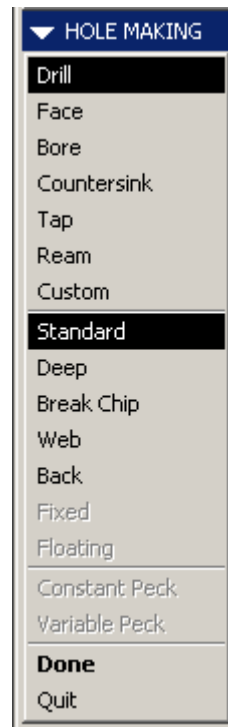


Kuva 15. Koneistettavan taskun määrittely kuvasta.

Nyt kaikki tarvittavat tiedot taskun koneistamiseksi on määritelty ja työkalun liikeradat voidaan tarkistaa valitsemalla NC Sequence -valikosta Play Path ja Screen Play. Valitsemalla avautuvasta Play Path -ikkunasta Play Forward nähdään kuvasta määritelty työstörata ja saadaan selville mahdolliset virheet. Sulkemalla Play Path -ikkuna ja valitsemalla Done Seq on taskun jysintä määritelty kokonaisuudessaan ja voidaan alkaa määritellä mahdollisia muita työstöratoja.

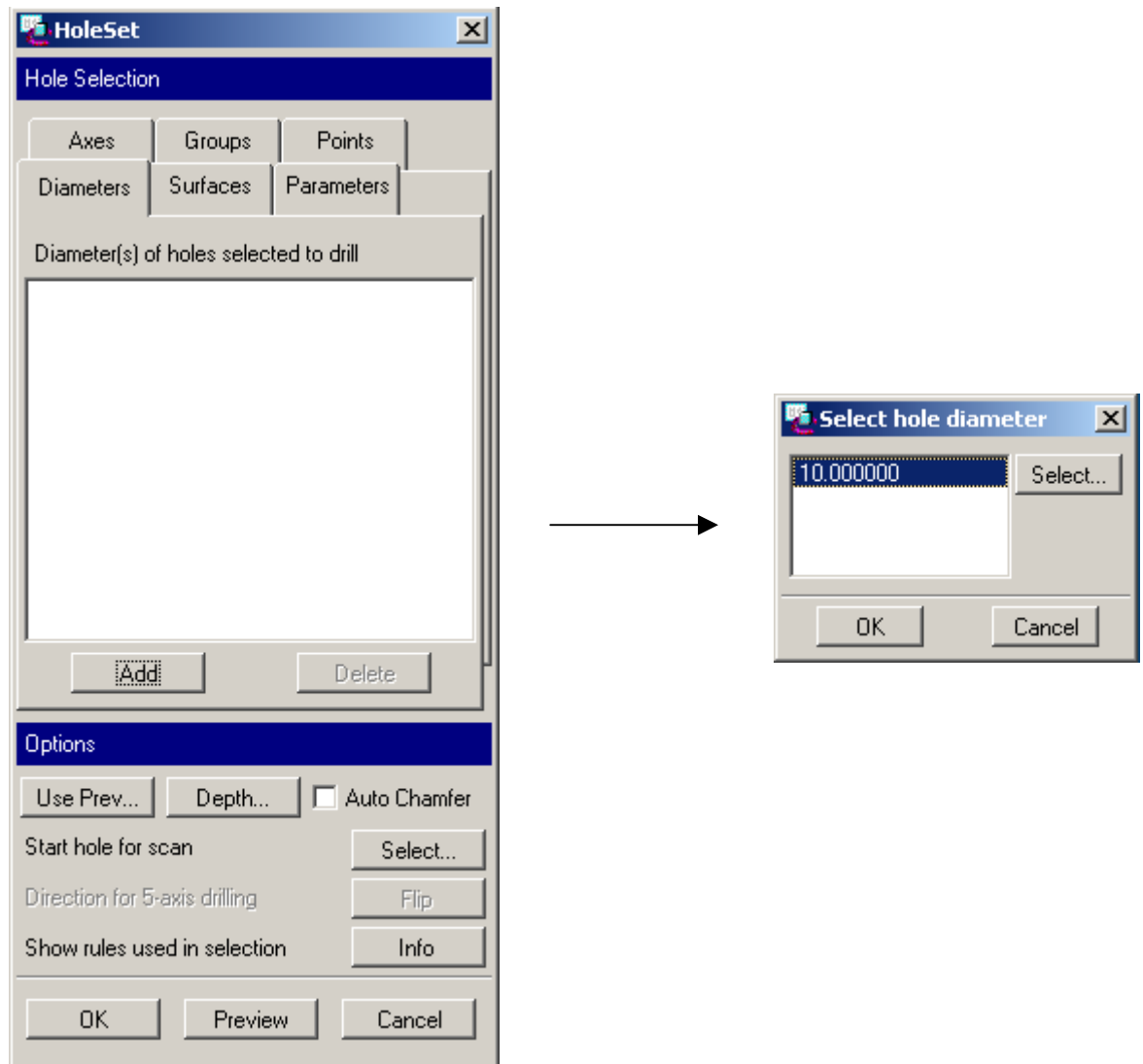
6.3 Poraus

Reikien poraus aloitetaan valitsemalla Manufacture-valikosta Machining ja NC Sequence. Mikäli on aiemmin luotu muita työstöratvoja, avautuu NC SEQ LIST, josta valitaan New Sequence ja sen jälkeen Holemaking ja Done. Kuvan 16 mukaisesta valikosta valitaan Drill, Standard ja Done.



Kuva 16. Haluttu poraustapa määritellään Holemaking-valikossa.

Avautuvasta Seq Setup -ikkunasta valitaan, mitä asetuksia halutaan määrittellä. Ensin annetaan työstöradalle nimi ja kommentti, jos se on valittu. Käytettävä työkalu luodaan Tool Setup -ikkunassa tai se voidaan hakea työkalukirjastosta, mikäli sellainen on käytettävissä. Kun käytettävä työkalu on määritelty, valitaan OK ja avautuvasta MFG Params -valikosta Set, jolloin päästään määrittelemään valmistusparametrejä. Eri kohtiin annetaan halutut arvot tai jätetään oletusarvot voimaan. Kohtiin, joissa oletusarvona on -1, on määriteltävä uusi arvo. Kun kaikki arvot on määritelty, valitaan File-valikosta exit. Seuraavaksi avautuvasta, kuvan 17 mukaisesta HoleSet-ikkunasta valitaan Diameters-välilehti ja sieltä Add. Avautuvassa ikkunassa näkyy lista kappaleen eri reikien halkaisijoista. Tästä listasta valitaan, mitkä reiät halutaan porata kyseisessä työstöradassa.

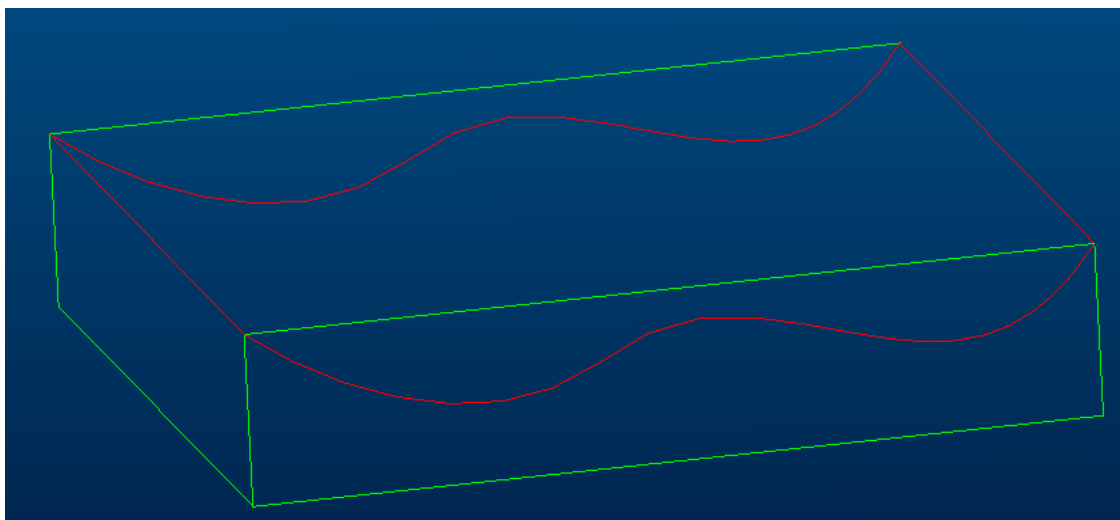


Kuva 17. Reikien valinta tapahtuu HoleSet-ikkunan avulla.

Preview-napilla kuvasta nähdään kaikki valitut reiät ja voidaan tarkistaa, että kyseessä ovat halutut reiät. Valitsemalla OK ikkuna sulkeutuu. Valitsemalla Done/Return päästään valikkoon, josta valitsemalla Play Path ja Screen Play avautuu Play Path -ikkuna. Valitsemalla Play Forward nähdään kuvasta määritetty työstörata. Sulkemalla Play Path -ikkuna ja valitsemalla Done Seq on työstöradan määrittely valmis.

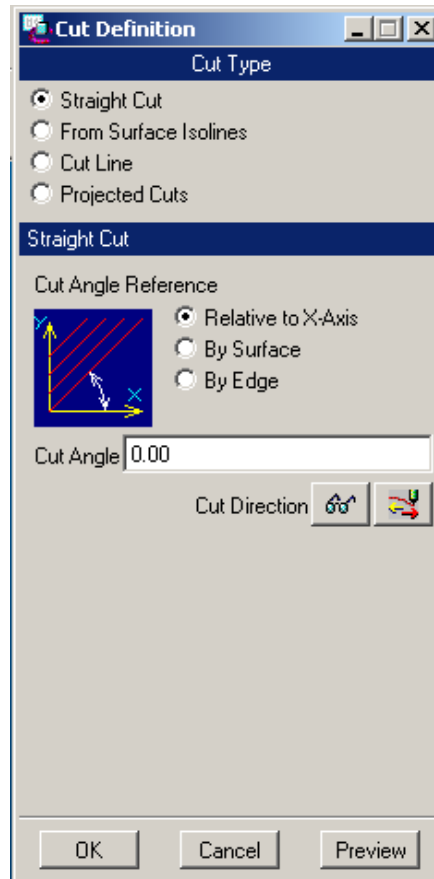
6.4 Kolmiulotteisten pintojen jyrsintä

Kolmiulotteisen pinnan jyrsiminen alkaa valitsemalla Manufacture-valikosta Machining, NC Sequence, Surface Mill ja Done. Avautuvasta SEQ SETUP -valikosta valitaan ainakin Name, Tool, Parameters, Surfaces ja Define Cut. Kun halutut vaihtoehdot on valittu painetaan Done, jolloin ohjelmaa kysyy työstöradalle nimeä. Seuraavaksi avautuu Tools Setup -ikkuna, jossa luodaan tai haetaan työkalukirjastosta haluttu työkalu ja painetaan OK. Tämän jälkeen MFG PARAMS -valikosta valitaan Set, jolloin päästään antamaan halutut arvot eri työstönopeuksille ja mitoille. Kohtiin joissa oletuksena on -1, on syötettävä uusi arvo, muihin voidaan halutessa jättää voimaan oletusarvo. Kun halutut arvot on syötetty, valitaan File-valikosta exit. MFG PARAMS -valikosta valitaan Done, jolloin avautuu SURF PICK -valikko, jonka avulla määritellään koneistettavat pinnat. SURF PICK -valikosta valitaan Model ja Done, jolloin avautuu GET SELECT -valikko. Seuraavaksi määritellään koneistettavat pinnat halutulla vaihtoehdolla. Jos pintoja on vain yksi, helpointa on valita Pick ja näyttää kuvasta koneistettava pinta. Jos pintoja on useita, valitaan Pick Many. Query Sel -vaihtoehdolla voidaan valita myös geometriaa, joka ei ole näkyvässä ja Sel By Menu -vaihtoehdolla avautuu valikko, josta voidaan valita halutut pinnat. Kun koneistettavat pinnat on valittu, kuten kuvassa 18, painetaan Done Sel ja Done/Return.



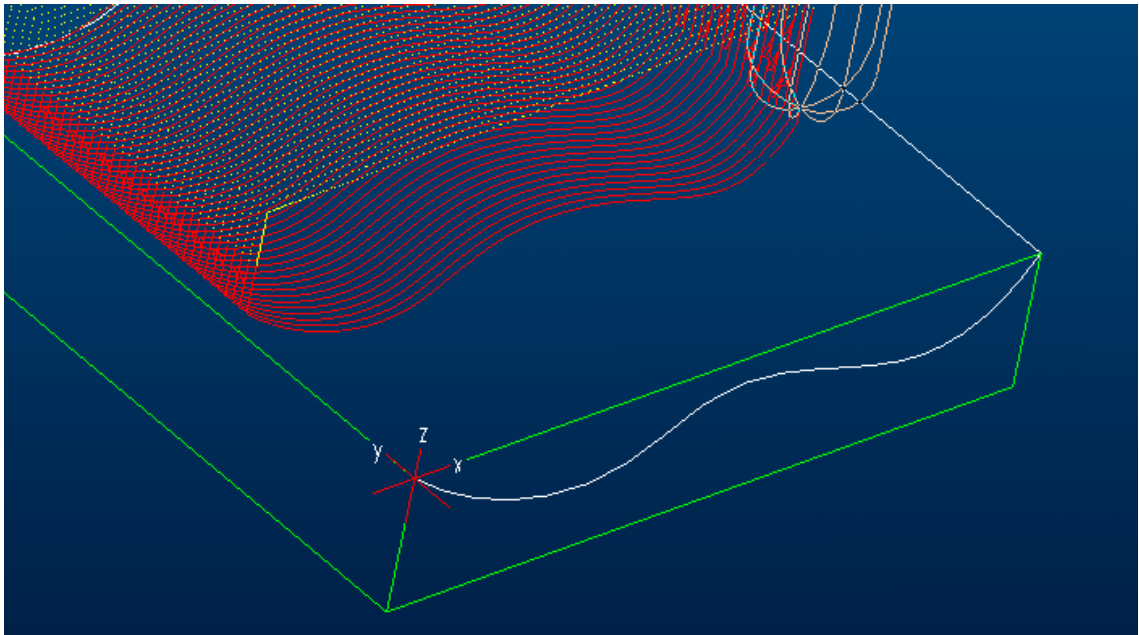
Kuva 18. Koneistettavan pinnan valitseminen.

Seuraavaksi avautuu kuvan 19 mukainen Cut Definition -ikkuna, jossa määritellään työstöradalle haluttu suunta. Riippuen muista asetuksista työstöradan suunnalla voi olla suurikin vaikutus työstöjälkeen ja näin ollen on tarkkaan harkittava, miten päin työstöradan halutaan olevan.



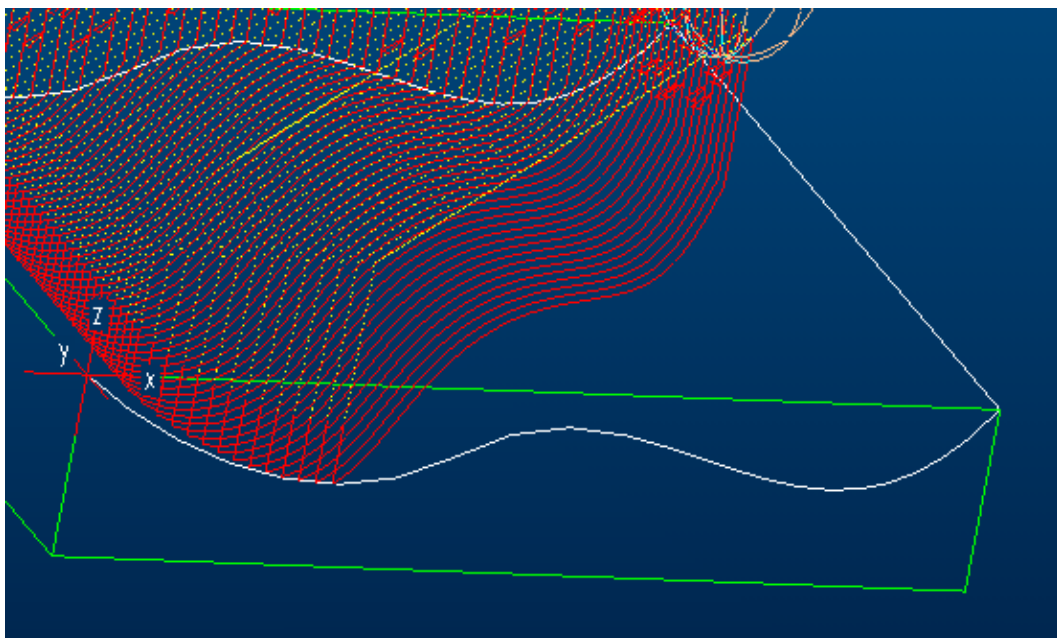
Kuva 19. Cut Definition –ikkunan avulla määritellään työstöradan suunta.

Valitsemalla Straight Cut leikkaa työkalu kappaletta suorassa linjassa.



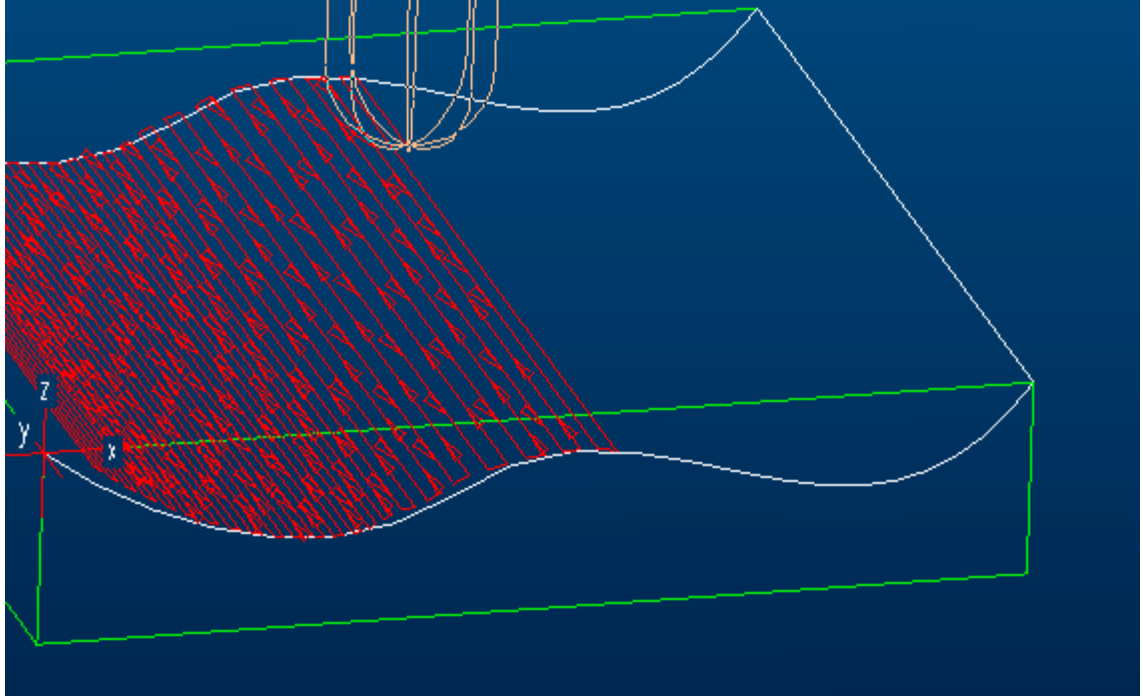
Kuva 20. Koneistus Straight Cut –menetelmällä.

Jos halutaan työstää pinta jostain syystä erisuuntaisella työstöradalla, voidaan Cut Angle -kohtaan antaa haluttu kulma, jolloin työstöradan suuntaa saadaan muutettua.



Kuva 21. Straight Cut -koneistus 45 asteen kulmassa.

Valittaessa vaihtoehto From Surface Isolines tapahtuu työstöradan määrittely niiden viivojen mukaan, jotka määrittelevät koneistettavan pinnan.



Kuva 22. Koneistus From Surface Isolines –menetelmällä.

Koneistuksen parametrejä valittaessa kannattaa erityistä huomiota kiinnittää STEP_OVER -parametriin. Tällä parametrillä määritellään jokaisen työstölinjan etäisyys toisistaan. Liian suurella arvolla työstölinjat ovat etäällä toisistaan ja työstöjälki on huonoa. Liian pienellä arvolla taas tulee työstölinjoja todella paljon ja työstöaika kasvaa liian suureksi.

7 TYÖSTÖRATOJEN SIMULOINTI

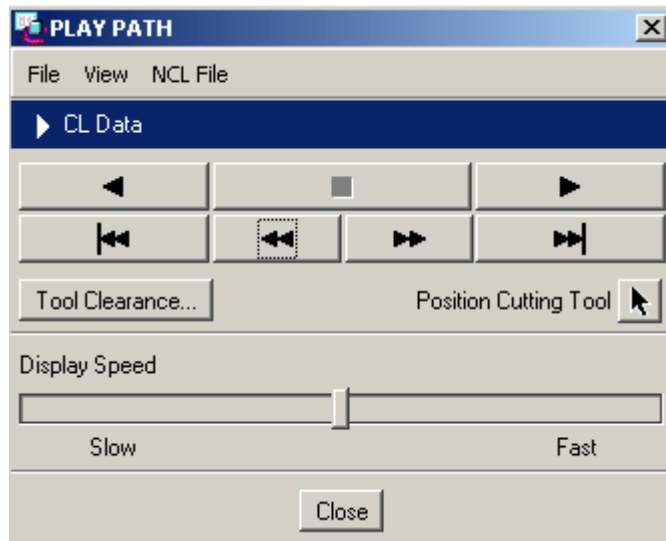
Simulointi on tärkeä osa NC-ohjelmointia, koska sillä voidaan varhaisessa vaiheessa havaita NC-ohjelmasta mahdolliset virheet. Kun virheet saadaan korjattua jo ennen NC-ohjelman valmistumista tai viimeistään valmiin ohjelman tarkastamisen yhteydessä, säästetään aikaa eikä tule ylimääräisiä materiaalikuluja virheellisten kappaleiden vuoksi. Pro/Engineerissä on mahdollista tarkastaa työstörata jo ennen kuin työstörata on valmis. Simuloimalla työkalun liikkeitä voidaan visuaalisesti tarkastaa työstöradan oikeellisuus ja suorittaa tarvittaessa korjauksia työstörataan.

Pro/Engineerissä on myös mahdollista suorittaa simuloitu ajo työkalun törmäyksien tarkastamiseksi. Vaikka työstörata olisi laadittu oikein, on mahdollista, ettei ole otettu huomioon esimerkiksi aihion kiinnikkeitä tai muita mahdollisia esteitä, joihin työkalu saattaa törmätä. Tähän tarkoitukseen Pro/Engineerissä on Gouge Check -toiminto, jolla voidaan tarkastaa työkalun liikeradat törmäyksien varalta.

Simulointi on myös mahdollista Pro/Engineerin vaihtoehtoisella lisäosalla Pro/NC-CHECKillä, jolla voidaan simuloida varsinainen materiaalin poisto aihionsta. Materiaalin poiston lisäksi NC Check simuloi samalla myös työkalun liikkeitä ja työstöradan. Myös NC Check voidaan suorittaa joko työstöradan luonnin yhteydessä tai myöhemmin työstöradan jo valmistuttua.

7.1 Työkalun liikkeiden simulointi

Kun osa tai kaikki työstöradat on määritelty, voidaan ne simuloida näytöllä, jolloin mahdolliset virheet havaitaan ja tarvittavat korjaukset voidaan suorittaa. Työstöradan simulointi tapahtuu valitsemalla Manufacturing-valikosta Machining, NC Sequence ja avautuvasta NC SEQ LIST -valikosta haluttu työstörata. Seuraavaksi valitaan NC Sequence -valikosta Play Path ja avautuvasta valikosta Screen Play. Nyt ruudulle avautuu kuvan 23 kaltainen Play Path -ikkuna, jonka avulla voidaan muun muassa simuloida työstörata ja muokata CLDATA-tiedostoa manuaalisesti.



Kuva 23. Play Path ikkunan avulla voidaan työkalun liikkeitä simuloida.

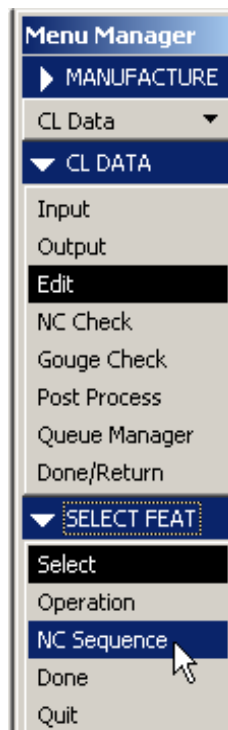
Nuolinäppäimillä voidaan työkalun liikettä katsoa joko eteen- tai taaksepäin. Valitsemalla File-valikosta Open voidaan avata uusi CL-tiedosto simuloitavaksi. Klikkaamalla hiiren vasemmalla napilla sinisellä pohjalla olevan CL Data -tekstin päällä saadaan näkyviin CLDATA-tiedoston sisältö ja siihen voidaan tehdä haluttaessa muutoksia.

On myös mahdollista simuloida kaikki luodut työstöradat peräkkäin, jolloin nähdään koneistus kokonaisuudessaan simuloituna ilman pysähdyksiä. Koko operaation simulointi kerralla tapahtuu valitsemalla Manufacture, Machining ja CL Data. Avautuvasta CL Data -valikosta valitaan Output, Output-valikosta Select one, Select Feat -valikosta Operation ja SEL MENU -valikosta valitaan haluttu operaatio. Avautuvasta Path-valikosta valitaan Display, jolloin avautuu Display CL -valikko. Annetuista vaihtoehdoista valitaan, mitä kaikkea halutaan ruudulla näytettävän ja Time Increment- ja Cutter Step -arvoja muuttamalla voidaan simuloinnin nopeutta säätää. Kun halutut asetukset on säädetty, valitaan Done, jolloin simulointi alkaa.

7.2 Materiaalin poiston simulointi

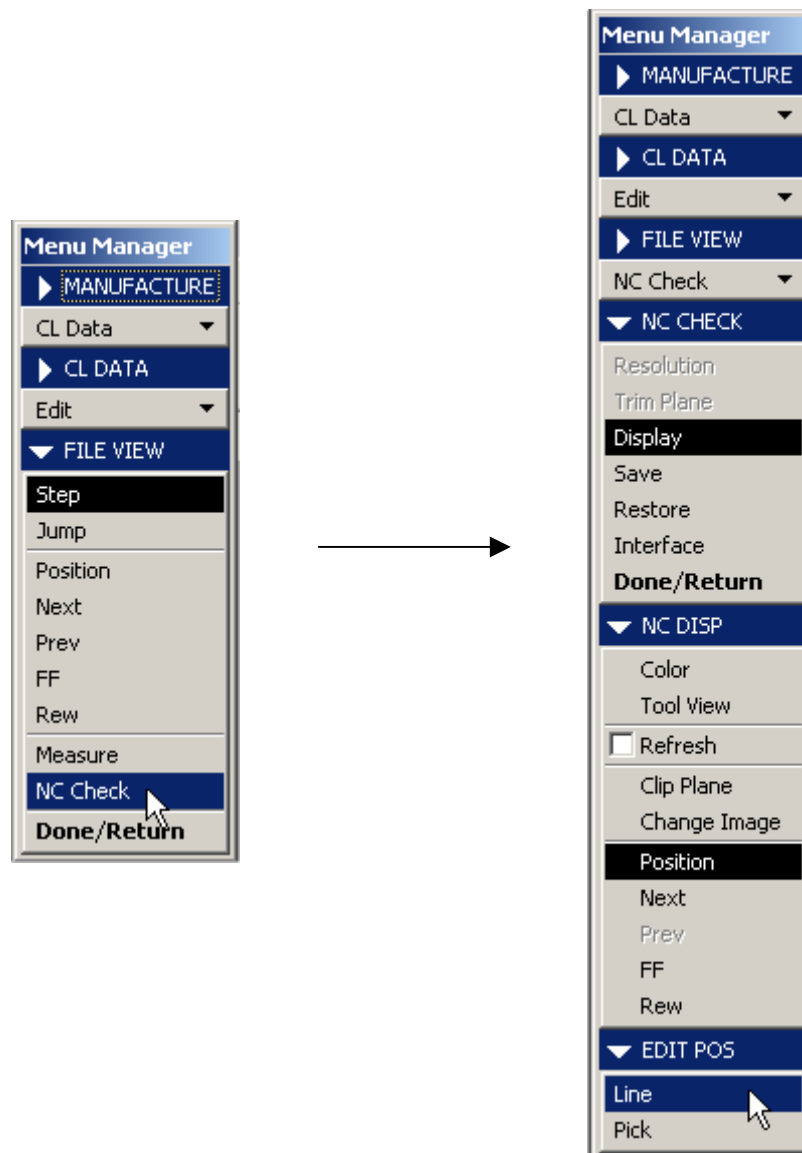
Materiaalin poiston simulointi eroaa työstöratujen simuloinnista siten, että alku-tilanteessa nähtävissä on ainoastaan työstettävän kappaleen aihio, josta sitten työkalun liikkeillä aletaan poistaa materiaalia. Materiaalin poiston simulointi Pro Engineerissä tehdään NC Check-toiminnolla. Kun simulointi on suoritettu, nähdään ruudulta tarkalleen, millainen koneistettavasta kappaleesta tulee niillä työstöradoilla, jotka on määritelty. Pelkällä työstöratujen simuloinnilla ei välttämättä havaita kaikkia virheitä tai puutteita NC-ohjelmasta. Työstöratujen simuloinnilla kyllä nähdään, että työstöradat on tehty oikein, mutta materiaalin poiston simuloinnilla voidaan nähdä esimerkiksi työkalun muodon tai tyyppin vaikutus lopputulokseen.

Kun kaikki työstöradat on määritelty, voidaan NC Check suorittaa valitsemalla aluksi kuvan 24 mukaisesti Manufacture-valikosta CL Data, Edit ja NC Sequence.



Kuva 24. NC Checkin suoritus.

Avautuvasta NC SEQ LIST -valikosta valitaan, mille työstöradalle halutaan suorittaa NC Check. Seuraavaksi ohjelma kysyy varmistusta uuden tiedoston luomiseksi. Hyväksytään tämä ja tallennetaan tiedosto haluttuun paikkaan. Avautuvasta File View -valikosta valitaan kuvan 25 mukaisesti NC Check, jolloin avautuu NC Check -valikko, josta valitaan Display. NC Disp -valikosta Position ja Edit Pos -valikosta Line.



Kuva 25. NC Checkin suoritus halutuille NC-ohjelman riveille.

Kun valitaan Line, ohjelma kysyy *Enter line number to position*, jolloin annetaan CLDATA-tiedoston rivi, johon asti halutaan simulointi suorittaa. Antamalla tiedoston viimeinen rivi simuloidaan materiaalin poisto kokonaisuudessaan.

Koko kappaleen koneistuksen simulointi NC Checkillä tapahtuu valitsemalla aluksi Manufacture-valikosta CL Data, Edit ja Operation. Avautuvasta Sel Menu-valikosta valitaan koneistusoperaation, joka halutaan simuloida. Seuraavaksi ohjelma kysyy varmistusta uuden tiedoston luomiseksi. Hyväksytään tämä ja tallennetaan tiedosto haluttuun paikkaan. Tästä eteenpäin koko koneistuksen simulointi suoritetaan täsmälleen samalla tavalla kuin yhdellekin työstöradalle.

8 CLDATA-TIEDOSTOT

CLDATA-tiedostot ovat niin sanottuja välitiedostoja, joihin tulostetaan kaikkien kappaleen koneistamiseksi luotujen työstöratojen työkaluasemat sekä muu tarvittava informaatio. Tässä vaiheessa tieto on vielä yleistä, eikä sitä ole suunnattu millekään tietylle koneelle. Sopivalla postprosessorilla tiedosto voidaan käsitellä NC-ohjelmaksi halutulle koneelle. [2]

Pro/Engineerin käyttämä välitiedostotyyppi on CL-tiedosto. CL-tiedostot ovat ASCII-tiedostoja, joten niitä voidaan lukea ja muotoilla millä tahansa teksti-editorilla. CL-tiedostoissa ei esiinny työkalun radan koordinaattien välissä postprosessorikäskyjä, vaan kaikki tarvittavat arvot on ilmoitettu kunkin työstöradan alussa. Alla on esimerkki yksinkertaisesta CL-tiedostosta.

```

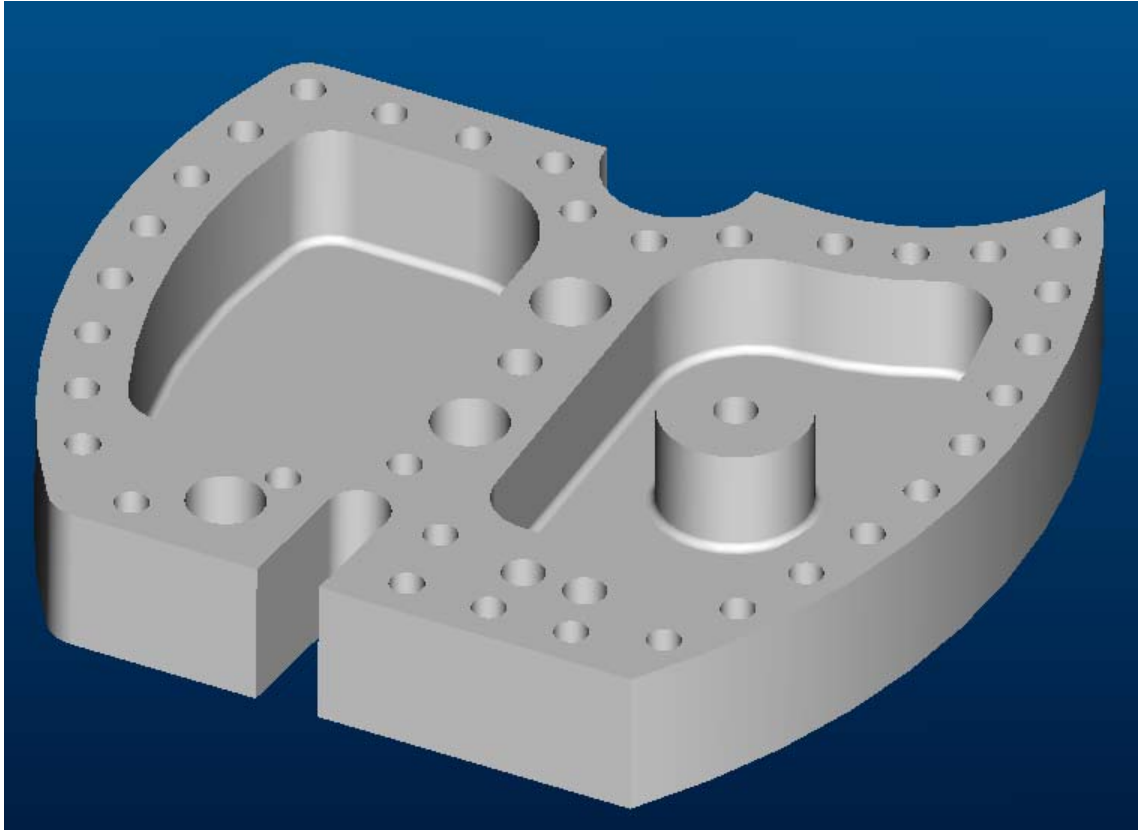
1 $$*           Pro/CLfile  Version 2001 - 2001200
2 $$-> MFGNO / PORAUS
3 PARTNO / PART
4 $$-> FEATNO / 23
5 MACHIN / UNCX01, 1
6 $$-> CUTCOM_GEOMETRY_TYPE / OUTPUT_ON_CENTER
7 UNITS / MM
8 LOADTL / 1
9 $$-> CUTTER / 10.000000
10 $$-> CSYS / 1.00000000, 0.00000000, 0.00000000, 0.00000000, $
11           0.00000000, 1.00000000, 0.00000000, 0.00000000, $
12           0.00000000, 0.00000000, 1.00000000, 0.00000000
13 SPINDL / RPM, 2300.000000, CLW
14 RAPID
15 GOTO / 145.00000000, 35.00000000, 20.00000000
16 CYCLE / DRILL, DEPTH, 35.000000, MMPM, 200.000000, CLEAR, 5.000000
17 GOTO / 145.00000000, 35.00000000, 0.00000000
18 GOTO / 160.00000000, 35.00000000, 0.00000000
19 GOTO / 160.00000000, 110.00000000, 0.00000000
20 GOTO / 110.00000000, 105.00000000, 0.00000000
21 CYCLE / OFF
22 RAPID
23 GOTO / 110.00000000, 105.00000000, 20.00000000
24 SPINDL / OFF
25 $$-> END /
26 FINI

```

Yllä oleva CL-tiedosto on hyvin yksinkertainen esimerkki CL-tiedostosta. Kyseisellä tiedolla porataan neljä 10 millimetrin reikää koneistettavaan kappaleeseen. Rivillä 7 määritellään käytettäväksi yksiköksi millimetri ja rivillä 8 valitaan käytettävä työkalu. Rivillä 13 määritellään työkalun pyörimisnopeus. Rivillä 16

määritellään eri työstöarvoja, ja riveillä 17 – 20 on määritelty porattavien reikien koordinaatit. CL-tiedostoihin voidaan kirjoittaa kommenttirivejä helpottamaan tiedoston tulkintaa ja antamaan käyttäjälle lisäinformaatiota. Kommenttien lisääminen on suositeltavaa varsinkin, jos tiedosto aiotaan arkistoida myöhempää käyttöä varten. Tällöin kommentit voivat osoittautua hyvinkin tarpeellisiksi.

CAD-kuvan perusteella mallinnetaan Pro Engineerillä 3-ulotteinen malli sekä kappaleesta että aihioista. Kun kappale on mallinnettu, näyttää se kuvan 27 kaltaiselta.



Kuva 27. Kappaleen 3-ulotteinen malli.

Kun on luotu ja tallennettu kappaleen ja aihion mallit, aloitetaan NC-ohjelmointivaihe. Aluksi kappale ja aihio asennetaan oikeille paikoilleen, jonka jälkeen säädetään NC-ohjelmoinnin asetukset halutuiksi. Kappaleelle luodaan koordinaatisto, ja origo sijoitetaan aihion vasempaan alakulmaan, kappaleen yläpinnan tasolle. X-akselin positiivinen suunta määritellään kappaleen alareunan suuntaisesti oikealle. Y-akselin positiivinen suunta määritellään kappaleen vasemman reunan suuntaisesti ylöspäin. Z-akselin positiivinen suunta määritellään kappaleen pinnasta poispäin. Nostotaso määritellään Z-akselia pitkin 20 mm:n korkeudelle.

9.1 Työstöratujen luonti

Ulkomuoto

Työstöratujen luonti suoritetaan jokaiselle muodolle erikseen, ja ne yhdistetään lopuksi yhdeksi NC-ohjelmaksi, joka määrittelee koko kappaleen koneistuksen. Työstöratujen määrittely aloitetaan kappaleen ulkomuodon jyrsimisestä. Pro Engineerissä työstöradan tyypiksi valitaan profile ja käytetyksi työkaluksi määritellään 25 mm varsijyrsin. Työstöarvoiksi määritellään syöttönopeudeksi 300 mm/min, yhden leikkausliikkeen syvyydeksi 5 mm, karan pyörimisnopeudeksi 12000 r/min ja turvaetäisyydeksi 5 mm. Lopuksi määritellään koneistettavat pinnat ja hyväksytään valmis työstörata.

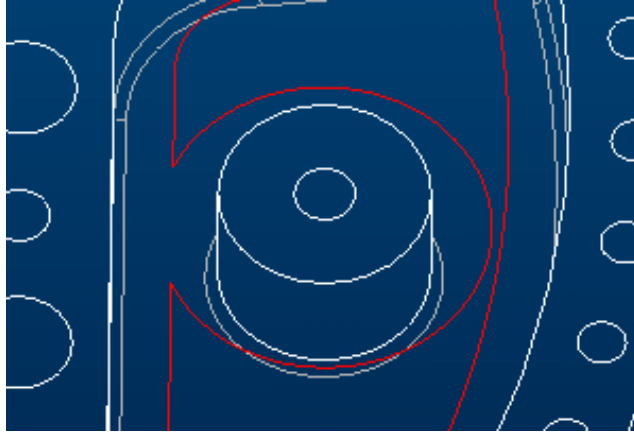
Lovi

Kappaleen alareunassa sijaitsevaa koloa ei voitu jyrsiä ulkomuodon jyrsinnän yhteydessä, koska käytetyn työkalun halkaisija oli liian suuri. Myös kolo jyrsitään profile-toiminnolla ja asetukset ovat muuten samat kuin ulkomuodon jyrsinnässä, mutta työkaluksi valitaan 12 mm varsijyrsin.

Taskut

Seuraavaksi määritellään työstörata molempien kappaleessa olevien taskujen eli syvänteiden jyrsimiseksi. Työstöradan tyypiksi valitaan pocketing ja käytetyksi työkaluksi 20 mm varsijyrsin, jossa 2 mm kulmapyöristys. Työkaluksi valitaan sellainen, jossa on kulmapyöristys, koska muuten ei saada taskujen pyöristettyjä osia jyrsittyä. Työstöarvoiksi määritellään syöttönopeudeksi 300 mm/min, yhden leikkausliikkeen syvyydeksi 10 mm, työstöratujen etäisyydeksi toisistaan 15 mm, karan pyörimisnopeudeksi 12000 r/min ja turvaetäisyydeksi 5 mm. Seuraavaksi valitaan koneistettavat pinnat. Nyt työstörata on valmis ja työkalun liikkeet voidaan tarkistaa, ennen kuin hyväksytään työstörata. Työkalun liikkeet saadaan näkyville valitsemalla Play Path ja Screen Play. Kun suoritetaan Play Path -toiminto ja simuloidaan työkalun liikkeet sille määriteltujen arvojen mukaan, huomataan, että työkalun halkaisija on liian suuri.

Kuvasta 28 voidaan nähdä, että työkalun liian suuri halkaisija aiheuttaa sen, että työkalu ei mahdu kulkemaan kappaleessa olevasta ahtaasta välistä.



Kuva 28. Virheellinen työstörata.

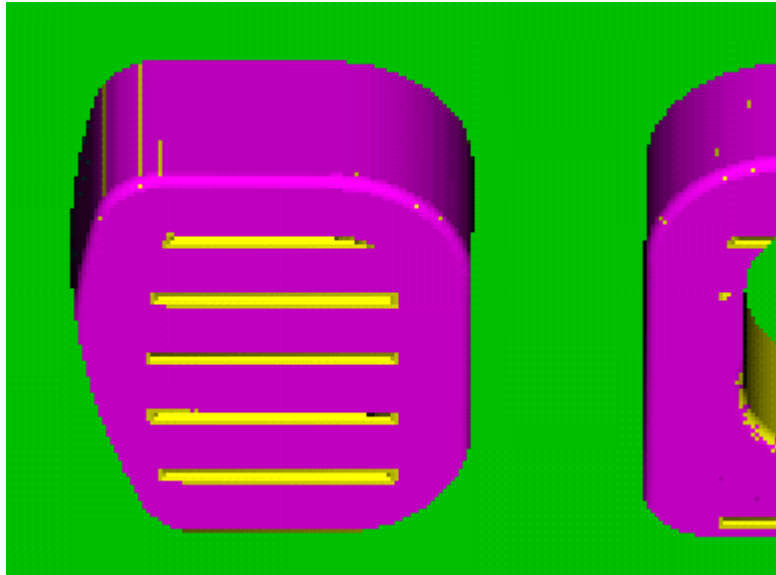
Ongelma saadaan korjattua vaihtamalla työkaluksi halkaisijaltaan 15 mm oleva varsijyrsin, 2 mm kulmapyörityksellä. Kun työkalu on vaihdettu, tarkastetaan työstörata vielä Play Path -toiminnolla ja huomataan, että nyt se on oikein ja työstörata voidaan hyväksyä.

Poraus

Aluksi luodaan työstörata 8 mm reikien poraamiseksi. Työstöradan tyypiksi valitaan holemaking ja käytetyksi työkaluksi 8 mm kierukkapora. Työstöarvoiksi määritellään syöttöarvoksi 300 mm/min, karan pyörimisnopeudeksi 12000 r/min ja turvaetäisyydeksi 5 mm. Lopuksi määritellään porattavat reiät eli kaikki 8 mm halkaisijaltaan olevat reiät, tarkastetaan työstörata Play Path -toiminnolla ja hyväksytään valmis työstörata. Halkaisijaltaan 10 mm ja 18 mm oleville rei'ille tehdään molemmille omat työstöradat muuten samalla tavalla, mutta työkaluiksi määritellään kierukkaporat 10 mm ja 18 mm halkaisijoilla. Myös nämä työstöradat tarkastetaan Play Path -toiminnolla ennen hyväksymistä.

9.2 Työstörajojen yhdistäminen ja tarkistaminen

Kun kaikki työstöradat on luotu, yhdistetään ne yhdeksi CLDATA-tiedostoksi, joka voidaan myöhemmin postprosessorilla muuttaa NC-ohjelmaksi halutulle koneelle. Työstörajojen yhdistäminen tapahtuu valitsemalla Manufacture-valikosta CL Data, CL Data -valikosta Output, Select Feat -valikosta Operation ja Sel Menu -valikosta valitaan haluttu operaatio. Avautuvasta Path-valikosta valitaan File ja Output Type -kohtaan valitaan Cl File ja lopuksi Done. Nyt kaikki työstöradat on yhdistetty yhdeksi CLDATA-tiedostoksi, joka kannattaa vielä tarkastaa NC Check -toiminnolla. NC Check voidaan suorittaa valitsemalla Manufacture-valikosta CL Data, Cl Data -valikosta Edit, Select feat -valikosta Operation ja Sel Menu -valikosta haluttu operaatio. Avautuvasta CL Edit -valikosta valitaan NC Check, NC Check -valikosta Display, NC Disp -valikosta Position ja Edit Pos -valikosta Line. Nyt ohjelma kysyy, mille riville asti NC Check halutaan suorittaa. Kun valitaan CLDATA-tiedoston viimeinen rivi, suoritetaan NC Check koko ohjelmalle. Kun suoritetaan NC Check aiemmin luoduille työstöradoille, huomataan, että näillä työstöradoilla ei saadakaan kaikkea materiaalia poistettua. Ongelma nähdään kuvassa 29.

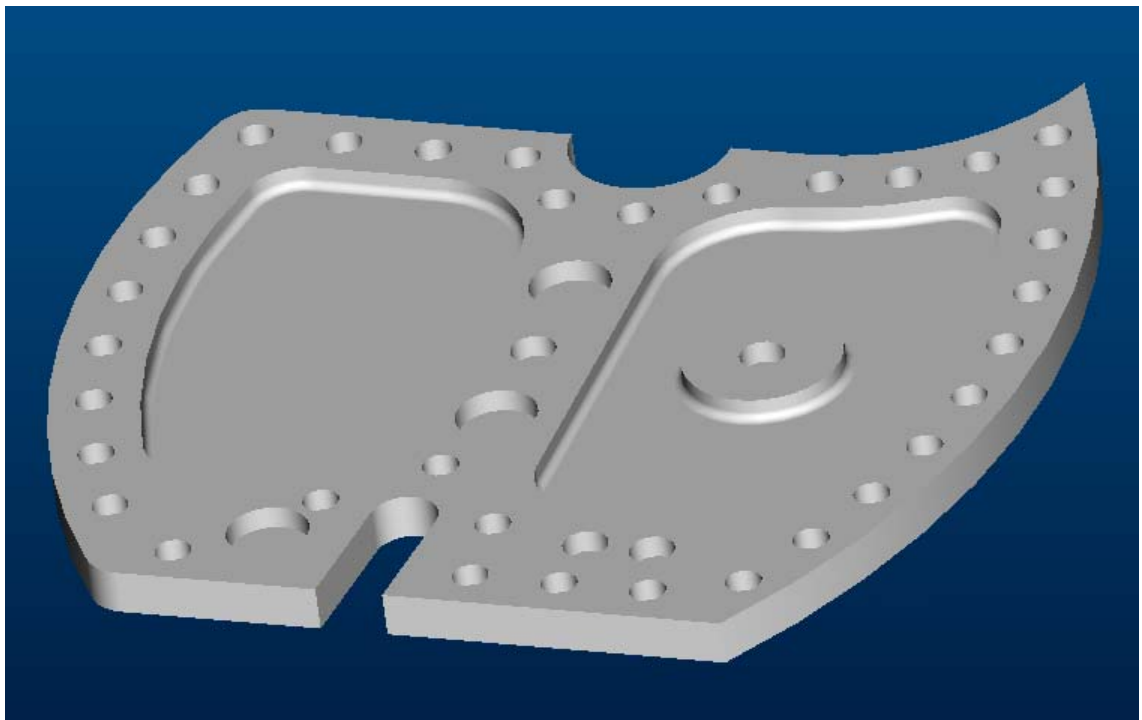


Kuva 29. Virhe työstöradassa

Ongelma johtuu työstöarvoja määriteltäessä annetusta arvosta työstöratojen etäisyydelle toisistaan. Koska työkalun halkaisija on 15 mm ja sen kulmapyöristys on 2 mm, on määritelty 15 mm etäisyys työstöratojen välillä liikaa. Ongelma saadaan korjattua muuttamalla työstöarvoihin 15 mm tilalle 10 mm. Arvon muuttaminen ei automaattisesti päivity luotuu CLDATA-tiedostoon, vaan se on luotava uudelleen. Nyt koko kappaleen koneistamiseen tarvittava tieto on tallennettu ncl-päätteiseen tiedostoon, joka on valmis postprosessoitavaksi.

9.3 Kappaleen muokkaus

Aikaisemmin määriteltyjen työstöratojen koneistaminen koulun Numo 5 – koneella osoittautui hankalaksi, koska koneessa ei ole työkalunvaihtoa. Myös kappaleen läpi menevät muodot aiheuttivat ongelmia koneistamisessa, joten kappaletta päätettiin muokata niin, että koko kappale koneistettaisiin samalla työkalulla, eikä kappaleessa olisi sen läpi meneviä muotoja. Kappaleen koneistamiseksi valittiin 8 mm halkaisijaltaan oleva terä ja tämän perusteella kappaleesta muotoiltiin kuvan 30 mukainen.

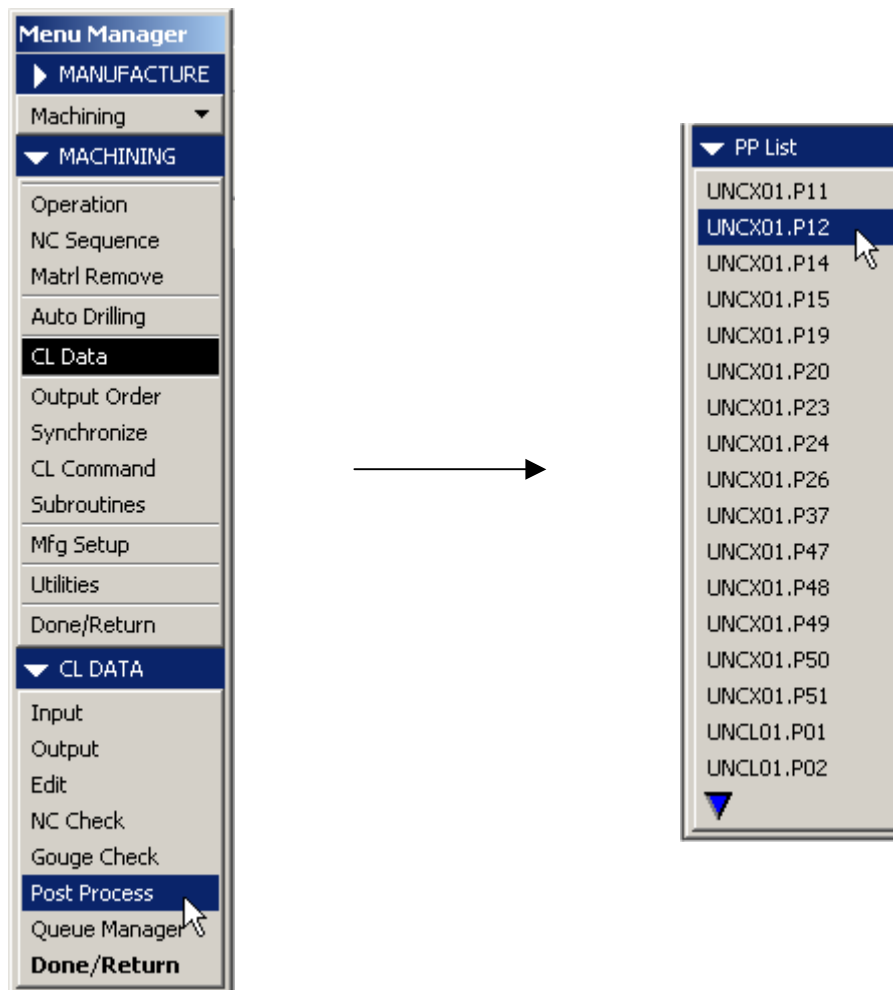


Kuva 30. Koneistettava kappale

Kappaleen koneistamiseksi luotiin työstöradat, jotka kaikki suoritettiin samalla työkalulla. Kappaleen 10 mm ja 18 mm halkaisijaltaan olevia reikiä käsiteltiin työstöratioja luotaessa taskuina, jotta ne saatiin koneistettua samalla työkalulla. Kaikille muodoille luotiin omat työstöradat, jonka jälkeen yhdistettiin yhdeksi CL-tiedostoksi. Työstöarvoiksi asetettiin syöttönopeudeksi 300 mm/min, yhden leikkausliikkeen syvyydeksi 5 mm, karan pyörimisnopeudeksi 12000 r/min ja turvaetäisyydeksi 5 mm.

9.4 Postprosessoriajo

Kun työstöradat on yhdistetty yhdeksi CL-tiedostoksi ja tiedosto on tallennettu, voidaan se postprosessoriajolla muuttaa NC-ohjelmaksi. Postprosessoriajo tapahtuu valitsemalla kuvan 31 mukaisesti Machining-valikosta CL Data, CL Data –valikosta Post Process, jolloin ohjelma kysyy, mikä tiedosto halutaan postprosessoida. Etsitään haluttu CL-tiedosto ja valitaan Open. Seuraavaksi avautuvasta PP Options –valikosta poistetaan valinnat kohdista Verbose, Trace ja MACHIN, ja valitaan Done. Avautuva PP List -valikko on lista kaikista Pro Engineerin sisältämistä postprosessoreista, ja näistä valitaan kuvan 31 mukaisesti UNCX01.P12, joka on nimeltään NIIGATA HN50A – FANUC 15MA – B TABLE.



Kuva 31. Postprocessorin valinta PP List –valikosta.

Kun postprosessori valitaan listasta, suorittaa Pro Engineer tiedoston post-prosessoinnin, jonka jälkeen avautuu informaatioikkuna, jossa on tietoja suoritetusta toiminnosta. Kun postprosessointi suoritetaan, luo Pro Engineer useita eri tiedostoja siihen hakemistoon, missä postprosessoitu CL-tiedosto sijaitsi. Näistä tiedostoista merkityksellinen on se, joka on nimeltään sama kuin postprosessoitu CL-tiedosto, mutta tap-päätteellä. Tämä tap-päätteinen tiedosto on valmis NC-ohjelma, joka saadaan Numo 5 –koneelle sopivaksi muuttamalla manuaalisesti tiedoston päätteeksi nc.

9.5 NC-ohjelman muokkaus

Koska Numo 5 –koneelle ei löytynyt omaa postprosessoria, oli etsittävä lähin mahdollinen postprosessori ja sen jälkeen pyrittävä manuaalisesti muokkaamaan NC-ohjelma sopivaksi. Useiden kokeilujen jälkeen käytettävä postprosessori valittiin ja CI-tiedosto postprosessoitin NC-ohjelmaksi. Seuraavassa esimerkissä on esitetty, mitä muutoksia NC-ohjelmaan tehtiin, ennen kuin kappaletta ryhdyttiin koneistamaan.

Alkuperäinen
NC-ohjelma:

N5 G71
N10(/ KAPPALE)
N15 G0 G17 G99
N20 G90 G94
N25 G0 G49
N30 T1 M06
N35 S12000 M03
N40 G0 G43 Z20. H1
N45 X160. Y109.
N50 Z5.
N55 G1 Z-5. F300.
N60 G3 X160. Y111. I0. J1.
N65 X160. Y109. I0. J-1.
N70 G1 Z20.
N75 G0 X172.55 Y90.132
N80 Z0.
N85 G1 Z-5. F300.
N90 X190.471
N95 X190.714 Y91.345
N100 X191.396 Y95.008
N105 X178.097
N110 X178.934 Y96.081
N115 X179.713 Y97.208
N120 X180.425 Y98.379
.
.
.
N2365 G1 Z20.
N2370 M30
%

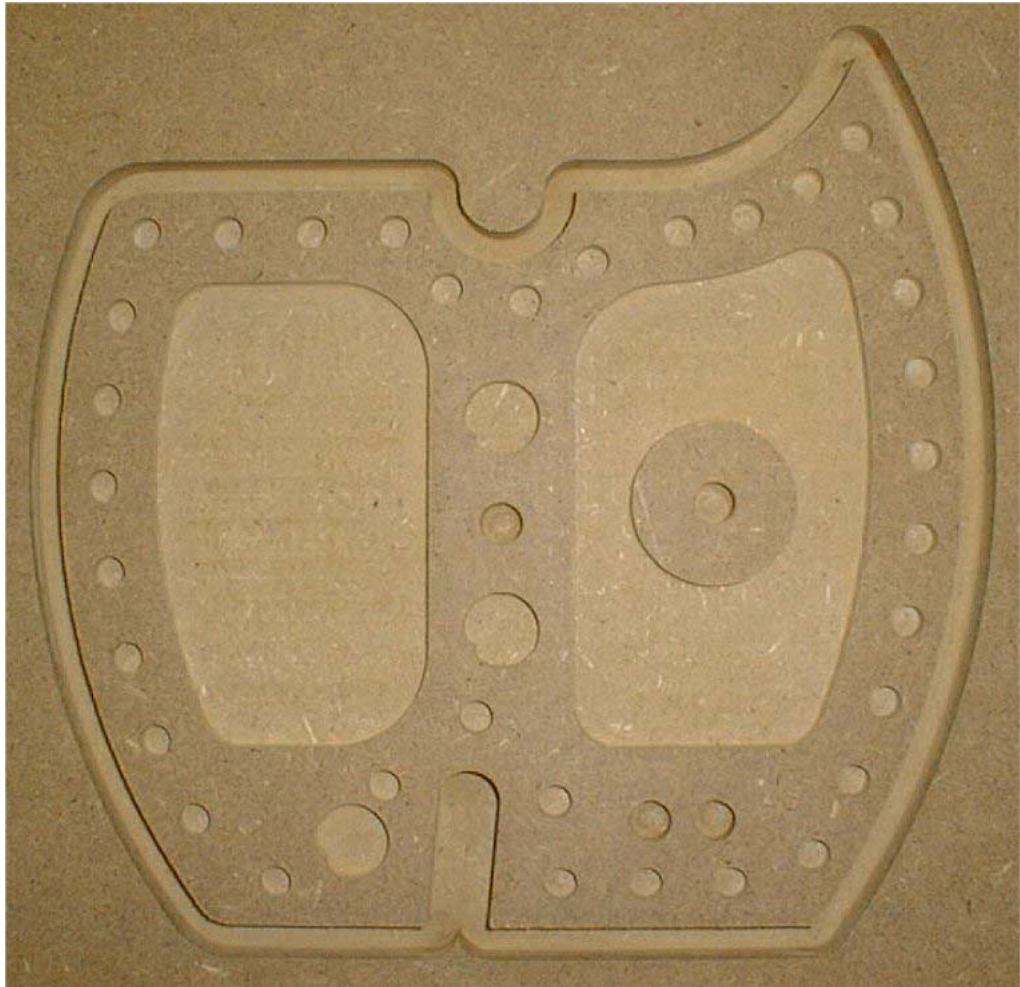
Muokattu
NC-ohjelma:

(N5 G71)
N10(/ PERHONEN4)
N15 G17 G90 G54
(N20 G99 G94)
(N25 G0 G49)
(N30 T1 M06)
N35 S12300 M03
(N40 G0 G43 Z20. H1)
N45 G0 X160. Y109. Z20.
N50 Z5.
N55 G1 Z-5. F300.
N60 G3 X160. Y111. I0. J1.
N65 X160. Y109. I0. J-1.
N70 G1 Z20.
N75 G0 X172.55 Y90.132
N80 Z0.
N85 G1 Z-5. F300.
N90 X190.471
N95 X190.714 Y91.345
N100 X191.396 Y95.008
N105 X178.097
N110 X178.934 Y96.081
N115 X179.713 Y97.208
N120 X180.425 Y98.379
.
.
.
N2365 G1 Z20.
N2370 M02
%

Alkuperäiseen ohjelmaan postprosessori teki useita G-alkuisia käskyjä, joita Numo 5 -kone ei käytä, joten ne muutettiin ohjelmaan kommentiksi. Ohjelmassa sulkujen sisällä olevat lauseet ovat kommentteja, eikä niitä huomioida ohjelmaa luettaessa. Myös työkalunvaihdon suorittava T1-käsky muutettiin kommentiksi, koska Numo 5 -kone ei ymmärrä tätä käskyä. Ohjelman alkuun lisättiin G54-käsky, joka on oltava työskenneltäessä Numo 5 -koneella. G54-käskyllä kutsutaan ohjelman alussa työkalukohtaista origoa. Koordinaatteihin ei tarvinnut tehdä mitään muutoksia, mutta lopussa oleva M30-käsky on aina vaihdettava M02-käskyksi, koska M30-käskyllä kone syöttää työkalua Z-akselin miinussuuntaan. Tämä voi johtaa työkalun vaurioitumiseen sen törmätessä pöytään tai kappaleeseen.

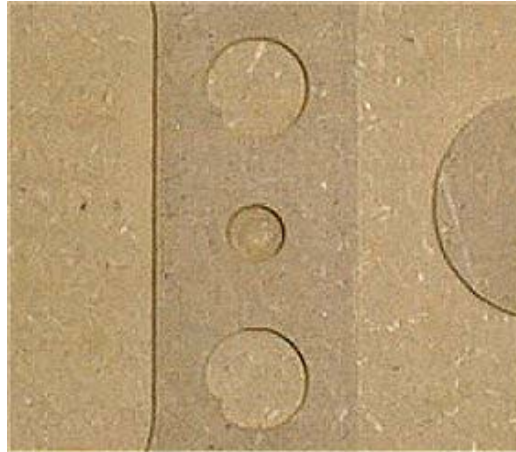
9.6 Kappaleen koneistus

Kun NC-ohjelma saatiin muokattua sopivaksi, se ladattiin Numo 5 -konetta ohjaavaan Primcam-ohjelmaan. Ennen NC-ohjelman suorittamista on määriteltävä origo. Tämä tapahtuu ajamalla työkalu haluttuun pisteeseen käsiajolla ja määrittelemällä Primcam-ohjelmassa, että tämä piste on origo. Tämän jälkeen työkalu ajetaan referenssipisteeseen ja NC-ohjelman suorittaminen voidaan aloittaa. Ennen varsinaista kappaleen työstämistä kannattaa suorittaa koeajo ohjelman tarkastamiseksi niin, että työkalu tekee työstöradat ilmassa. Näin voidaan vielä tarkastaa, että työkalu käyttäytyy halutulla tavalla ja välttyään mahdollisilta vahingoilta. Kun ohjelman tarkastus oli tehty, suoritettiin varsinainen kappaleen koneistus. Valmis kappale on nähtävissä kuvassa 32.



Kuva 32. Koneistettu kappale

Kappaleen työstäminen onnistui hyvin ja työstöradat olivat samanlaiset kuin oli määritelty ja Pro Engineerillä simuloitu. Ainut virhe kappaleen työstämisessä tapahtui siinä, että työstöratoja tehtäessä käytettäväksi työkaluksi määriteltiin halkaisijaltaan 8 mm oleva terä. Alun perin 8 mm teräksi luultu terä osoittautuikin jälkeenpäin mitattaessa 7 mm teräksi. Koska työstöradat määritellään terän keskipisteen mukaan, on kappaleen mitoissa 1 mm virhe. Sitä ei silmämääräisesti pysty kovin helposti havaitsemaan kappaleesta. Parhaiten virhe tulee esille 18 mm reikien kohdalla, joiden työstäminen on jäänyt vajaaksi johtuen liian pienestä työkalusta. Tämä virhe on havaittavissa paremmin kuvasta 33.



Kuva 33. Virhe kappaleessa

Kappaleen valmistumisen seuraaminen työstämisen ajan sekä valmiin kappaleen tarkastelu osoittavat, että kaikkien kappaleessa esiintyneiden muotojen työstäminen onnistui suunnitellusti. Työstöradat olivat halutunlaiset, eikä niiden suhteen esiintynyt mitään ongelmia. Ajan puutteen vuoksi kappaletta ei enää ryhdytty työstämään uudelleen, vaikka siinä esiintyikin pieni virhe. Kappaleen työstämistä uudelleen ei muutenkaan katsottu tarpeelliseksi, koska jo näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että toimivan NC-ohjelman luominen Pro Engineerillä onnistuu.

10 YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää mahdollisuudet luoda NC-ohjelmia Pro Engineerillä ja dokumentoida koko prosessi. Lisäksi tavoitteena oli saada muokattua Pro Engineerin asetukset sellaisiksi, että uuden NC-ohjelman luonnin aloittaminen olisi mahdollisimman nopeaa ja helppoa.

Työn tuloksena on kattava ohjeistus Pro Engineerin NC-ohjelmoinnin vaiheista ja eri tekijöiden vaikutuksesta lopputulokseen. Lisäksi ohjeistuksen luomisen ohessa luotiin valmis työkalukirjasto helpottamaan NC-ohjelman luomista. Myös Pro Engineerin asetukset määräävä config.pro-tiedosto päivitettiin sellaiseksi, että kaikki asetukset ovat halutut heti ohjelman käynnistyttyä, eikä niiden asettamiseen mene turhaa aikaa.

Työssä keskityttiin NC-ohjelmoinnin kannalta olennaisimpiin asioihin, koska Pro Engineerin laajuuden vuoksi kaikkea ei millään voitu käsitellä. Työ sisältää kuitenkin kaikki tärkeimmät asiat NC-ohjelmoinnin kannalta ja työn avulla on helppo alkaa NC-ohjelmoinnin opettelu.

LÄHDELUETTELO

- 1 Ihalainen, Aaltonen, Aromäki, Sihvonen, Valmistustekniikka. 5., uudistettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1995. 490 s. ISBN 951-672-205-9.
- 2 Pikkarainen, E. , Laurila, A. & Pekkola, K. Tietokoneavusteinen NC-ohjelmointi. 2., uusittu painos. Helsinki: Painatuskeskus Oy, 1993. 159 s. ISBN 951-37-1194-3.
- 3 Parametric Technology Corporation. Pro/MFG & Pro/NC-CHECK User's Guide Release 18.0. U.S.A., 1997.