



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ PRO/MANUFACTURING

ΧΑΡΙΤΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΙΛΑΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2010

## Περίληψη

Βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η παρουσίαση ορισμένων χρήσιμων υποδείξεων για πιο εύκολη και γρήγορη εφαρμογή του Pro/NC, του βασικότερου, δηλαδή, υποσυστήματος του Pro/Manufacturing του Pro/Engineer. Γενικότερα, παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η εκτέλεση κατεργασιών για CNC φρέζες τριών αξόνων, με ένα σύγχρονο και εύχρηστο τρόπο μέσω του προγράμματος Pro/Engineer. Επιπλέον, παρουσιάζονται παράλληλα βασικές λειτουργίες του προγράμματος προσομοίωσης Vericut, το οποίο αποτελεί σημαντικό βοηθητικό πρόγραμμα στον σχεδιασμό κατεργασιών.

Η εργασία που ακολουθεί περιλαμβάνει τέσσερα κεφάλαια.

- Αρχικά, γίνεται μια παρουσίαση των εργαλειομηχανών CNC, καθώς και διαφόρων πληροφοριών που σχετίζονται με τα κοπτικά εργαλεία και τις συνθήκες με τις οποίες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αυτά. Επιπλέον, γίνεται μια σύντομη αναφορά στον κώδικα των εργαλειομηχανών και στον τρόπο δημιουργίας του.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μια σύντομη αναφορά στο σύστημα Pro/Manufacturing και στα υποσυστήματά του. Επίσης, παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα ροής για το σύστημα αυτό.
- Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος σχεδιασμού κατεργασιών στο σύστημα Pro/Manufacturing για φρέζες τριών αξόνων. Παράλληλα με αυτό παρατίθενται και πληροφορίες για τις παραμέτρους που είναι σημαντικές στην εκάστοτε κατεργασία και για τις βασικότερες επιλογές διάταξης για καλύτερη διαμόρφωση του λειτουργικού περιβάλλοντος του προγράμματος.
- Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο τρόπος χρήσης του προγράμματος προσομοίωσης Vericut, καθώς και σημαντικές πληροφορίες για την ρύθμιση της προσομοίωσης.

Η διπλωματική εργασία κλείνει με τα παραρτήματα, όπου προβάλλονται και τα μηχανολογικά σχέδια του υπό κατεργασία δοκιμίου.

## **Ευχαριστίες**

*Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Μπιλάλη Νικόλαο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.*

*Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Ταπόγλου Νικόλαο για τις συνεχείς υποδείξεις και εύστοχες παρατηρήσεις, που ήταν καταλυτικές για την εκπόνηση της εργασίας αυτής.*

*Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους εκείνους που συνέβαλλαν στην πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.*

*Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου για τα όμορφα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε μαζί, ιδιαίτερα στην φίλη μου Νίκη και στις αδερφές μου για την υπομονή και την συμπαράστασή τους.*

*Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου για την αμέριστη ηθική και υλική υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.*

*Η παρούσα διπλωματική εργασία αφιερώνεται στην οικογένεια μου.*

*Χαρίτου Καλλιόπη,*

*Χανιά 2010*

## Περιεχόμενα

I.	Εισαγωγή.....	6
1.	Ιστορικό εργαλειομηχανών .....	6
2.	Γενικές αρχές αριθμητικού ελέγχου.....	13
3.	Άξονες κατεργασίας .....	16
4.	Κοπτικά εργαλεία .....	20
5.	Κώδικας εργαλειομηχανής.....	23
6.	Στάδια μελέτης για προγραμματισμό CNC.....	26
II.	Pro/Manufacturing .....	27
1.	Εισαγωγή .....	27
III.	Pro/NC.....	31
1.	Εισαγωγή .....	31
2.	Ακολουθίες αριθμητικού ελέγχου .....	34
3.	Δημιουργία μοντέλου κατεργασίας.....	36
4.	Config.pro options (επιλογές διάταξης) .....	41
5.	Δημιουργία περιβάλλοντος κατεργασιών .....	43
i.	Δημιουργία μηχανής αριθμητικού ελέγχου .....	46
ii.	Δημιουργία μέσου συγκράτησης .....	49
iii.	Δημιουργία κοπτικών εργαλείων .....	51
iv.	Συνδυασμός υλικών κατεργασίας με κοπτικά εργαλεία .....	56
6.	Πρότυπο μοντέλο κατεργασίας .....	58
7.	Παράμετροι κατεργασίας .....	60
i.	Αρχεία κατεργασίας για παραμέτρους κατεργασίας .....	62
8.	Δημιουργία ακολουθιών.....	63
i.	Ακολουθία κατεργασίας προσώπου (Face) .....	66
ii.	Ακολουθία κατεργασίας προφίλ (Profile).....	80
iii.	Ακολουθία κατεργασίας διάτρησης (Holemaking) .....	86
iv.	Ακολουθία κατεργασίας όγκου (Volume) .....	94
v.	Ακολουθία κατεργασίας βύθισης (Plunge) .....	105
vi.	Ακολουθία κατεργασίας κοιλότητας (Pocketing) .....	110
vii.	Ακολουθία κατεργασίας όγκου σε τροχιά (Trajectory) .....	114
viii.	Ακολουθία κατεργασίας επιφάνειας (Surface) .....	124

9. Πληροφορίες κατεργασίας .....	129
10. Τελική επεξεργασία .....	131
IV. Vericut .....	133
1. Εισαγωγή .....	133
Ανασκόπηση - Συμπεράσματα.....	138
Βιβλιογραφία - Πηγές .....	140
Παράρτημα 1 - Κοπτικά εργαλεία .....	141
Παράρτημα 2 - Μηχανολογικά σχέδια .....	146
Παράρτημα 3 - Φύλλο διαδικασιών.....	148

## I. Εισαγωγή

### 1. Ιστορικό εργαλειομηχανών

Η ανάπτυξη των εργαλειομηχανών χρονολογείται γύρω στο 1775 και παρουσιάζει γρήγορη αύξηση κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα.

Το 1775 ο Άγγλος John Wilkinson κατασκεύασε ένα οριζόντιο δράπανο (φρεζοδράπανο) για την επεξεργασία των εσωτερικών επιφανειών πυροβόλων στο οποίο η κινητήρια δύναμη της μηχανής ερχόταν από ένα υδροτροχό.

Το 1794 ο Henry Maudslay κατασκεύασε ένα μεταλλικό τόρνο με αυτοδύναμη προώθηση του κοπτικού εργαλείου (*Εικόνα I.1.1*) και τα επόμενα χρόνια κατασκεύασε διάφορους όμοιους τόρνους με μεταβαλλόμενη ταχύτητα περιστροφής, καθώς επίσης και κοπτικές μηχανές για σπειρώματα και γρανάζια.



*Εικόνα I.1.1*

Ο πρώτος τόρνος του Μόσλυ για κοπή σπειρωμάτων

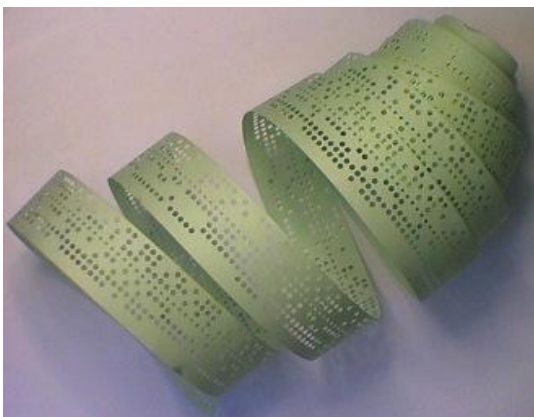
Κατά τη δεκαετία του 1810 ο James Watt κατασκεύασε έναν παντογράφο, μια μηχανή που χρησιμοποιείται συχνά και σήμερα για να «αντιγράψει» ανάγλυφες επιφάνειες (νομίσματα κ.ά.) και ο Thomas Blanchard έναν τόρνο, για παραγωγή κανών μικρών όπλων, στον οποίο ένα προκατασκευασμένο υπόδειγμα καθοδηγούσε το κοπτικό εργαλείο. Έπειτα στη δεκαετία του 1840 κατασκευάστηκε ο πρώτος αυτόματος τόρνος (ρεβόλβερ).

Στο δεύτερο μισό του 19<sup>ου</sup> αιώνα παρατηρείται ανάπτυξη μεγάλης ποικιλίας εργαλειομηχανών για τις βασικές λειτουργίες κοπής μετάλλου, όπως τόννευση, φρεζάρισμα, διάτρηση, πλάνισμα και λείανση, οι οποίες αρχίζουν να χρησιμοποιούνται ευρέως στον βιομηχανικό τομέα.

Σημαντική ήταν η συμβολή του Άγγλου Joseph Whitworth, ο οποίος ασχολήθηκε με κατασκευές οργάνων μετρήσεως και σπειρωμάτων, καθώς επίσης δημιούργησε και τις αρχές τυποποίησης. Λόγω αυτών των αρχών, κάθε εξάρτημα σε μια μηχανή, σε περίπτωση βλάβης, μπορούσε εύκολα να αντικατασταθεί με ένα ανταλλακτικό πανομοιότυπο. Έτσι επέρχεται μαζικοποίηση της μηχανολογικής παραγωγής.

Κατά το 1800 στην Αγγλία κατασκευάζονται οι πρώτες πλάνες για μεταλλικές επιφάνειες και στις πρώτες δεκαετίες του 19ου αιώνα σημειώνεται η κατασκευή μεγάλων πλανών, για σημαντικές μεταλλικές κατασκευές, σε Αγγλία, Αμερική και Γερμανία.

Το 1947 ήταν αδύνατο για την κατασκευαστική βιομηχανία να καλύψει τις ανάγκες της Αμερικάνικης Πολεμικής Αεροπορίας. Δεν ήταν μόνο η μειωμένη παραγωγική ικανότητα των συμβατικών εργαλειομηχανών, αλλά και η συνεχής παραγωγή χωρίς συντήρηση και η κόπωση των τεχνικών, που οδηγούσε συχνά σε ελαττωματικά και επικίνδυνα κομμάτια. Έτσι το 1949 ο John Parsons της Parsons Corporation και το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT) ανέλαβαν την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων εργαλειομηχανών. Έπειτα, το 1952, το MIT ολοκλήρωσε με επιτυχία την πρώτη ψηφιακή εργαλειομηχανή (μηχανή αριθμητικού ελέγχου - Numerical Control – N.C.), μια φρέζα με κατακόρυφη άτρακτο, η οποία φέρει το όνομα Cincinnati Hydrotel, και έχει την δυνατότητα να κατασκευάζει εξαρτήματα με ταυτόχρονες κινήσεις κοπής σε τρεις άξονες και να εισάγει πληροφορίες μέσω διάτρητης ταινίας (Εικόνα I.1.2). Το 1954 άρχισε να δημιουργείται η πρώτη συμβολική γλώσσα προγραμματισμού, ο “Αυτόματος Προγραμματισμός Εργαλείων” (Automatically Programmed Tool, APT), όπως ονομάστηκε. Μια από τις κατασκευές της πρώτης ψηφιακά καθοδηγούμενης εργαλειομηχανής με τη βοήθεια της APT είναι το τασάκι της Εικόνας I.1.3.



Εικόνα I.1.2



*Εικόνα I.1.3*

Το 1958, η εταιρία Bendix, αγόρασε την πατέντα από τον Parsons και κατασκεύασε την πρώτη εμπορική ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή.

Από εκείνη την περίοδο και μετά, η χρήση των μηχανών αυτών γίνεται απαραίτητη στον βιομηχανικό τομέα. Αρχίζει, λοιπόν, η προσπάθεια αυτοματοποίησης όλων των μηχανουργικών κατεργασιών και η ανάπτυξη αντιστοίχων NC εργαλειομηχανών.

Η εξέλιξη των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, των ημιαγωγών και των μικροϋπολογιστών οδήγησε στη μετάβαση από τις NC στις CNC εργαλειομηχανές (Computer Numerical Control ) και η ανάπτυξη των αισθητήρων και των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου στις αντίστοιχες DNC (άμεσα καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές με ηλεκτρονικό υπολογιστή - Direct Numerical Control). Τα συστήματα CNC αποτελούσαν συστήματα ελέγχου με μικροϋπολογιστές, στα οποία τα προγράμματα μπορούσαν να μεταφερθούν στην μηχανή είτε με μαγνητικές κασέτες (*Εικόνα I.1.4*) είτε μέσω θύρας RS-232 (*Εικόνα I.1.5*). Ενώ, η λειτουργία DNC χαρακτήριζε το είδος της λειτουργίας κατά το οποίο περισσότερες μηχανές CNC ήταν εφικτό να πάρουν τα προγράμματα τους από έναν κεντρικό υπολογιστή. Έτσι, σήμερα, από την απλή διάτρηση, έως την πολύπλοκη επεξεργασία ανάγλυφων επιφανειών, χρησιμοποιούνται απλές και φθηνές ή σύνθετες και ακριβές εργαλειομηχανές.



*Εικόνα I.1.4*





Εικόνα I.1.5

Στη συνέχεια, βάση των κατεργασιών με NC, CNC και DNC μηχανές και άλλων ηλεκτρονικών λειτουργιών, δημιουργούνται ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής με υπολογιστή, τα CIM. Έτσι, τα συστήματα ανάπτυξης (Computer Aided Engineering - CAE) έρχονται να βελτιστοποιήσουν το επιθυμητό προϊόν. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν συστήματα σχεδίασης (CAD - Computer Aided Design) και προγράμματα διαφόρων υπολογισμών με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων (FEM – υπολογιστική μέθοδος στατικής και δυναμικής αντοχής κατασκευών και όχι μόνο). Ο προγραμματισμός δε των κατεργασιών γίνεται σε συστήματα CAM (Computer Aided Manufacturing), λαμβάνοντας υπόψη διάφορες τεχνολογικές παραμέτρους των κατεργασιών αυτών.

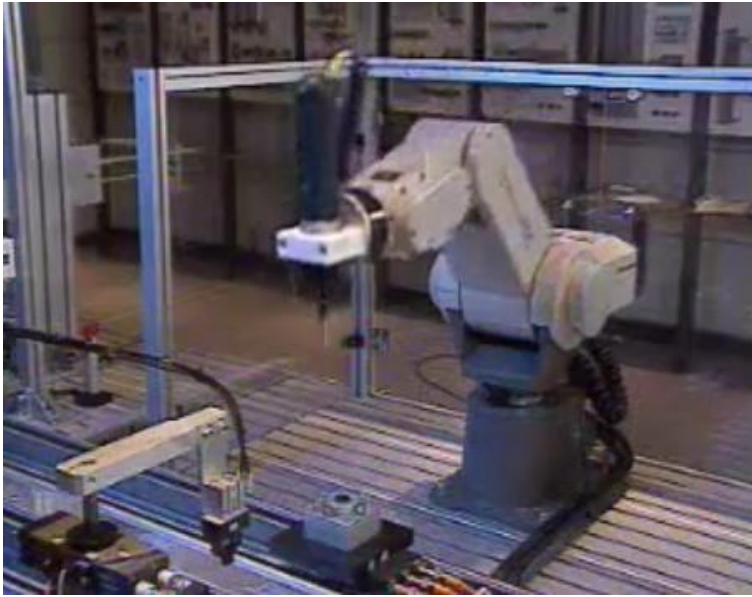
Τα σύγχρονα μηχανουργεία εντάσσουν τις NC, CNC και DNC εργαλειομηχανές σε ακόμα πιο σύνθετες δομές, που ονομάζονται ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS- Flexible Manufacturing System) (Εικόνα I.1.6 α και β). Το FMS συνιστάται από μηχανές που εκτελούν κάποιον αριθμό εργασιών, ένα σύστημα διαχείρισης υλικών (MHS) και μια υπολογιστική μονάδα για τον έλεγχο του συστήματος. Το σύστημα αυτό ενσωματώνει ηλεκτρονικό σχεδιασμό της παραγωγής, αυτόματες μεταφορικές διατάξεις και αποθήκες, βιομηχανικά ρομπότ και διατάξεις ποιοτικού ελέγχου (Εικόνες I.1.7). Όλα αυτά καθοδηγούνται και εποπτεύονται από έμπειρους μηχανικούς και τεχνικούς, με τη βοήθεια δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών. Με τον τρόπο αυτό, η παραγωγή αποτελεί πλέον μια ελεγχόμενη και απλοποιημένη διαδικασία.

Στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί και υψηλών στροφών μηχανές (High speed), οι οποίες με την βοήθεια των συστημάτων FMS, μειώνουν σε πολύ σημαντικό βαθμό τον χρόνο παραγωγής. Οι μηχανές αυτές διαφέρουν από τις συμβατικές CNC μηχανές, ως προς την τεχνολογία που χρησιμοποιούν. Για την εκτέλεση high speed κατεργασιών πρέπει να έχουμε ταχύτητα περιστροφής ατράκτου μεγαλύτερη από 6000 RPM, πρόωση έως και 18 m/min, κατάλληλα και ζυγοσταθμισμένα κοπτικά εργαλεία και κώνους για HSM, σύστημα CAD/CAM για μεθοδολογία HSM και εξειδικευμένους χειριστές. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα I.1.8) φαίνεται μια κατεργασία φρεζαρίσματος υψηλών ταχυτήτων HSM.



*Εικόνα I.1.8*





*Εικόνες I.1.7*



*Εικόνα I.1.6α*

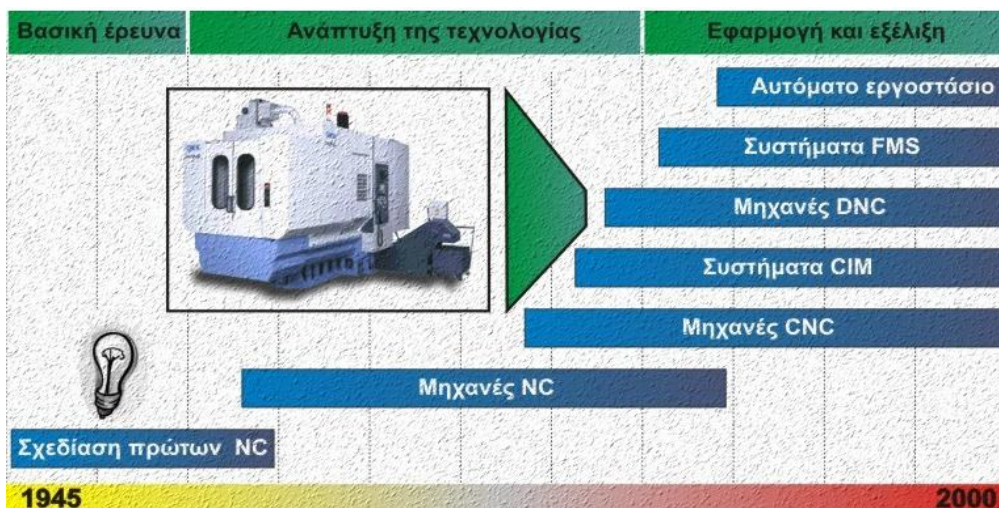




Εικόνα Ι.1.6β

Συμπερασματικά, η χρήση της τεχνολογίας λογισμικού και υπολογιστών, με στοιχεία τεχνητής νοημοσύνης, οδηγεί στην πρόωμη έννοια του αυτόματου εργοστασίου, στο οποίο η συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα στη λήψη αποφάσεων και στην καθοδήγηση μειώνεται ακόμα περισσότερο. Το σύγχρονο πλέον αυτόματο εργοστάσιο αποτελείται από εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση, που επιφέρουν μεν εντυπωσιακή αύξηση της παραγωγικότητας, αλλά απαιτούν δε εξειδικευμένους χειριστές.

Στην εικόνα που ακολουθεί (Ι.1.9) παρουσιάζεται διαγραμματικά η ιστορική εξέλιξη των εργαλειομηχανών από τα αρχικά στάδια έρευνας μέχρι την ολοκληρωτική και επιτυχημένη εφαρμογή τους.



Εικόνα Ι.1.9

Σήμερα, πλέον, το αυτόματο εργοστάσιο είναι στο στάδιο της ολοκληρωτικής εφαρμογής με συνεχιζόμενες, όμως, τάσεις εξέλιξης. Αξίζει να σημειωθεί ότι τώρα η Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδοτεί τα 'Εργοστάσια του Μέλλοντος' (Factories of the Future) μέσα από το 7<sup>ο</sup> Πρόγραμμα Πλαίσιο.

## 2. Γενικές αρχές αριθμητικού ελέγχου

### Ορισμός αριθμητικού ελέγχου

*Αριθμητικός έλεγχος εργαλειομηχανών* είναι ο τύπος ελέγχου που χρησιμοποιεί αριθμητικές τιμές για την αναφορά στη θέση και την κίνηση των αξόνων της μηχανής, για τον ορισμό εργαλείων, στροφών ατράκτου κλπ.. Ο αριθμητικός έλεγχος δίνει την δυνατότητα στον χειριστή να «επικοινωνεί» με την εργαλειομηχανή και να την «καθοδηγεί» μέσω ενός κώδικα, δηλαδή μέσω μιας ακολουθίας γραμμάτων και αριθμών. Μέσω της μονάδας ελέγχου της εργαλειομηχανής εκτελούνται κατεργασίες με ύψιστη ακρίβεια και ελέγχονται όλες οι λειτουργίες της. Οι εργαλειομηχανές που λειτουργούν με αυτό τον τρόπο λέγονται ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές (NC).

Εάν παρεμβάλλεται ηλεκτρονικός υπολογιστής οι εργαλειομηχανές ονομάζονται ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές με ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC). Στις CNC εργαλειομηχανές αυτοματοποιείται η λειτουργία και ο έλεγχος τους μπορεί να γίνει και από απόσταση (remote control).

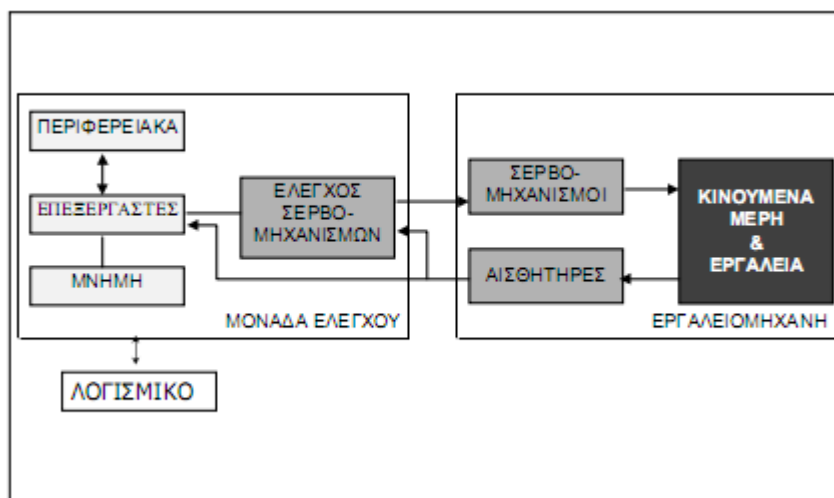
Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται διάφορες ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές.



Εικόνα 1.2.1

Τα κύρια στοιχεία εργαλειομηχανής αριθμητικού ελέγχου (Εικόνα Ι.2.2) είναι τα εξής :

- Οι άξονες της εργαλειομηχανής - συνδυασμός γραμμικών και περιστροφικών, όπου κάθε άξονας νοείται και με την κινηματική του έννοια, αλλά και σαν σύστημα μετάδοσης κίνησης, όπως επίσης και μέτρησης των στοιχείων αυτής της κίνησης (θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση). Παράδειγμα γραμμικής κίνησης αποτελεί η πρόωση του τραπεζιού μιας φρέζας, ενώ περιστροφικής η περιστροφή του διαιρέτη της φρέζας.
- Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου το οποίο περιλαμβάνει συνήθως ένα αριθμό μικρο-επεξεργαστών, RAM, ROM και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων για την επεξεργασία και διαχείριση του προγράμματος καθώς και ηλεκτρονικά ισχύος για τον έλεγχο των αξόνων.
- Το λογισμικό - λειτουργικό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει παραμέτρους μηχανής, περιβάλλον προγραμματισμού, σταθερές ρουτίνες επιμέρους κατεργασιών, ρουτίνες διευκόλυνσης του προγραμματισμού της μονάδας ελέγχου, σύστημα ενδείξεων τρέχουσας κατάστασης, διαγνωστικά βλαβών κλπ.
- Διάφορα περιφερειακά για την εισαγωγή του προγράμματος στη μηχανή, την εκτύπωση αρχείων και ενδεχόμενα την παρακολούθηση της λειτουργίας της εργαλειομηχανής.



Εικόνα Ι.2.2

Τα σημερινά συστήματα ελέγχου CNC (αριθμητικός έλεγχος με H/Y) χρησιμοποιούν επιπρόσθετα αριθμητικές τιμές και για λειτουργίες, όπως ο μετασχηματισμός συστημάτων συντεταγμένων, η διαχείριση πινάκων δεδομένων, η αντιστάθμιση διαμέτρου και μήκους εργαλείου κλπ. Αυτές καθώς και επιπρόσθετες λειτουργίες γραφικών, επικοινωνίας με άλλους H/Y και περιφερειακά αντιδιαστέλλουν τον απλό αριθμητικό έλεγχο (NC) με αυτόν που βασίζεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC). Σήμερα πλέον δεν υφίσταται NC με την αρχική του έννοια, απλά, CNC και αυτό εννοούμε πλέον με τον όρο «αριθμητικός έλεγχος».

**Πλεονεκτήματα και περιορισμοί του Αριθμητικού Ελέγχου**

Οι σημερινές μονάδες CNC εκτελούν μεγάλης σχετικά έκτασης επεξεργασία των δεδομένων, το οποίο, ναί μεν τους προσθέτει λειτουργικότητα, αλλά και πολυπλοκότητα. Το βασικότερο κίνητρο στην ανάπτυξη των εργαλειομηχανών με σύστημα αριθμητικού ελέγχου, αποτέλεσε η ανάγκη για υψηλή ακρίβεια στις κατασκευές εξαρτημάτων πολύπλοκης γεωμετρίας, σε συνδυασμό τόσο με την επαναληψιμότητα του αποτελέσματος όσο και με τη μείωση του χρόνου κατεργασίας. Για τους παραπάνω λόγους, η πλειοψηφία των εργαλειομηχανών που πωλούνται σήμερα είναι CNC εργαλειομηχανές. Η ανάδειξη των πλεονεκτημάτων των εργαλειομηχανών CNC μπορεί να γίνει συγκρίνοντας τις δυνατότητες τους με αυτές των συμβατικών εργαλειομηχανών.

Κατασκευές υψηλής ακρίβειας, της τάξης του 0.01mm ή μικρότερο, απαιτούν στις συμβατικές εργαλειομηχανές εξαιρετικά χρονοβόρες κατεργασίες, αφού ο χειριστής είναι υποχρεωμένος να διακόπτει συχνά την κοπή για να μετρά τις διαστάσεις του κομματιού, έτσι ώστε να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ακρίβεια. Οι εργαλειομηχανές CNC, όμως, εξοικονομούν αυτό το χρόνο, αφού η ακρίβεια κοπής – συνήθως ίση προς τη διακριτική ικανότητα της εργαλειομηχανής – είναι δεδομένη από το σύστημα.

Επιπλέον εξοικονομείται χρόνος με τις CNC και κατά την αλλαγή της φάσης κατεργασίας, όπου ο χειριστής συμβατικής μηχανής θα ήταν υποχρεωμένος να σταματήσει, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνέχιση της επόμενης φάσης.

Η παραγωγική διαδικασία και το αποτέλεσμά της εξαρτάται ακόμα και από την κόπωση του χειριστή. Στα συστήματα CNC, παρακάμπτονται αυτά τα προβλήματα και επιπλέον, επειδή η επαναληψιμότητα του αποτελέσματος είναι σε υψηλά επίπεδα, ο έλεγχος της ποιότητας περιορίζεται στο πρώτο μόνο κομμάτι.

Ενώ όλες οι μηχανουργικές κατεργασίες, απλές ή σύνθετες, μπορούν να γίνουν από ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, δεν συμβαίνει το ίδιο και με τις συμβατικές. Στις συμβατικές εργαλειομηχανές, η δυνατότητα κοπής περιγραμμάτων τα οποία απαιτούν κίνηση του κοπτικού εργαλείου ταυτόχρονα σε δύο άξονες, βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από την εμπειρία και δεξιότητα του χειριστή και αυτό μόνο για απλά κομμάτια, ενώ η κοπή περιγραμμάτων σε τρεις διαστάσεις είναι εντελώς αδύνατη. Αντίθετα στις εργαλειομηχανές CNC, οι δυνατότητες αυτές είναι χαρακτηριστικές.

Σε αντιστάθμιση αυτών των πλεονεκτημάτων, οι εργαλειομηχανές CNC έχουν υψηλότερο κόστος αγοράς και συντήρησης και απαιτούν έμπειρους προγραμματιστές εξοικειωμένους με τις μηχανουργικές κατεργασίες, τον προγραμματισμό και τη λειτουργία τους.



### 3. Άξονες κατεργασίας

Η έννοια του τύπου ελέγχου των αξόνων έχει ιδιαίτερη σημασία για την κατανόηση της αρχής λειτουργίας της εργαλειομηχανής. Για την κίνηση των αξόνων έχει σημασία το αρχικό σημείο, το τελικό σημείο (προορισμός) και η ταχύτητα της κίνησης. Ο απλούστερος τρόπος κίνησης από το αρχικό στο τελικό σημείο είναι η ανεξάρτητη μετατόπιση κάθε άξονα ταυτόχρονα, αλλά χωρίς σύνδεση των αξόνων μεταξύ τους (σημείο προς σημείο). Αυτός ο τρόπος είναι σαφές ότι κινεί, πχ ένα εργαλείο κοπής, από ένα σημείο σε ένα άλλο, αλλά χωρίς να δίνει σημασία στην ακολουθούμενη τροχιά. Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται συνήθως από τις παλαιότερες μηχανές διάτρησης και κάποιες εργαλειομηχανές διαμόρφωσης ελασμάτων.

Παραλλαγή του τύπου αυτού αποτελεί η μετατόπιση κάθε άξονα διαδοχικά, ή όπως ονομάζεται συνήθως “γραμμικής τροχιάς”, στον οποίο εκτελούνται συνήθως διαδοχικές γραμμικές κινήσεις, που έχουν όμως περιορισμένη χρησιμότητα, επειδή είναι δύσκολο να ακολουθηθεί συγκεκριμένη τροχιά στη γενική περίπτωση. Ο πιο εξελιγμένος τύπος κίνησης των αξόνων είναι με συγχρονισμό τους έτσι ώστε να διαγράφεται μία συγκεκριμένη τροχιά στο χώρο. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση είναι ο συγχρονισμός τριών αξόνων, με τον οποίο είναι δυνατή η διαγραφή καμπύλων στο χώρο. Μια παραλλαγή αυτού του τρόπου υπάρχει και στο επίπεδο με δυνατότητα χρήσης όμως τουλάχιστον τριών αξόνων (κίνηση 2.5 διαστάσεων). Ο συγχρονισμός αυτός γίνεται με παρεμβολή (Interpolation) που υλοποιείται συνήθως σε λογισμικό. Ο τύπος αυτός ελέγχου ονομάζεται “γενικευμένης τροχιάς”.

#### Καθορισμός των αξόνων

Οι άξονες συντεταγμένων και ο τρόπος καθορισμού της θετικής κατεύθυνσης κίνησης για εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου περιγράφονται στο ISO-841 του 1974 και στα αντίστοιχα εθνικά πρότυπα DIN, BS κλπ.

Ορίζεται δεξιόστροφο καρτεσιανό σύστημα για τους κύριους άξονες X, Y και Z (*Εικόνα I.3.1*)

Οι γραμμικοί άξονες μιας εργαλειομηχανής είναι

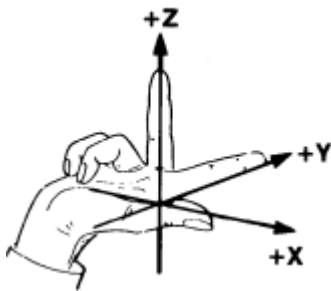
- οι κύριοι X, Y, Z,
- οι δευτερεύοντες U, V, W, παράλληλοι προς τις διευθύνσεις x, y, z αντίστοιχα.
- οι βοηθητικοί P, Q και R., όχι αναγκαία παράλληλοι προς τις διευθύνσεις x, y, z.

Οι άξονες περιστροφής συμβολίζονται με A, B και C και είναι επίσης παράλληλοι προς τις κύριες καρτεσιανές διευθύνσεις x, y, z. Η θετική κατεύθυνση περιστροφής για τους άξονες A, B και C προσδιορίζεται με τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία κοιτώντας προς τη θετική κατεύθυνση των αξόνων X,Y,Z αντίστοιχα (*Εικόνα I.3.2*).

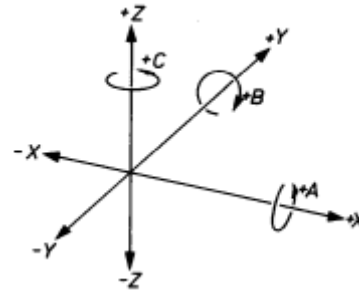
Ο άξονας R (Reference = αναφορά) συχνά χρησιμοποιείται αντί του Z για να δηλώσει το επίπεδο (αναφοράς) όπου αποσύρεται το εργαλείο φρέζας, δραπάνου και



άλλων συναφών εργαλειομηχανών μετά την ολοκλήρωση μιας φάσης κοπής και πριν την έναρξη της επόμενης και πάνω από το οποίο το εργαλείο είναι δυνατό να κινείται με γρήγορη πρόωση.



Εικόνα I.3.1



Εικόνα I.3.2

Οι κανόνες προσανατολισμού του καρτεσιανού συστήματος σε εργαλειομηχανές είναι οι ακόλουθοι :

Για τον άξονα των Z :

- Σε εργαλειομηχανές φρεζαρίσματος ή διάτρησης η σύμβαση είναι ο Z άξονας να είναι παράλληλος με την άτρακτο και η θετική κατεύθυνση να αντιστοιχεί σε αύξηση της απόστασης τεμαχίου - εργαλείου.
- Γενικά ο άξονας Z είναι κατά μήκος της κύριας ατράκτου (αυτής που διαθέτει την μέγιστη ισχύ). Η άτρακτος μπορεί να περιστρέφει το εργαλείο (όπως σε δράπανα) ή το τεμάχιο (όπως σε τόνους).
- Εάν δεν υπάρχει άτρακτος, όπως λ.χ. σε πλάνες, ο άξονας Z είναι κάθετος στην επιφάνεια συγκράτησης του τεμαχίου (τραπέζι).

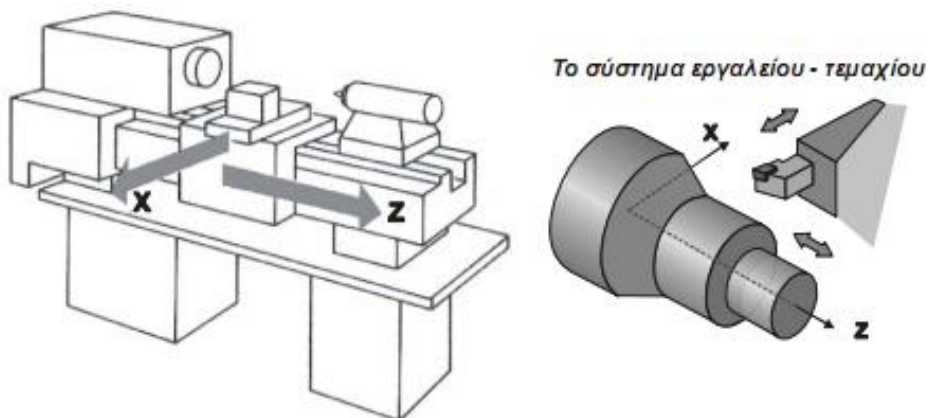
Για τον άξονα των X :

- Ο άξονας X είναι παράλληλος προς την επιφάνεια συγκράτησης και παράλληλος προς την μακρύτερη από τις κινήσεις της μηχανής. Όπου είναι δυνατόν πρέπει να είναι οριζόντιος.
- Σε εργαλειομηχανές με περιστρεφόμενα εργαλεία εάν ο άξονας Z είναι οριζόντιος, η θετική κατεύθυνση X είναι προς τα δεξιά κοιτώντας από την κολώνα προς το τεμάχιο. Εάν ο άξονας Z είναι κατακόρυφος η θετική κατεύθυνση του άξονα X είναι προς τα δεξιά κοιτώντας από την άτρακτο προς την κολώνα.
- Στην περίπτωση τόνου ο άξονας X έχει κατεύθυνση ακτινικά προς τα έξω.

Για τον άξονα των Y η θετική κατεύθυνση προκύπτει από το δεξιόστροφο σύστημα X-Y-Z μετά τον προσδιορισμό των θετικών κατευθύνσεων για τους άξονες X και Z.

Πιο αναλυτικά, για να γίνει κατανοητή η έννοια των αξόνων κατεργασίας, είναι ευκολότερο να υποθεθεί ότι όλες οι κινήσεις μιας κατεργασίας με ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή γίνονται από το κοπτικό εργαλείο, χωρίς βέβαια να ισχύει αυτό.

Για παράδειγμα, στην τόννευση με ψηφιακή καθοδήγηση, άξονες κατεργασίας είναι οι κινήσεις, που εκτελεί το εργαλείο κάθετα και παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής του κατεργαζόμενου τεμαχίου, επομένως, αρκεί η χρήση επίπεδων συστημάτων συντεταγμένων, και μάλιστα καρτεσιανών, όπως παρουσιάζεται στην *Εικόνα Ι.3.3*.



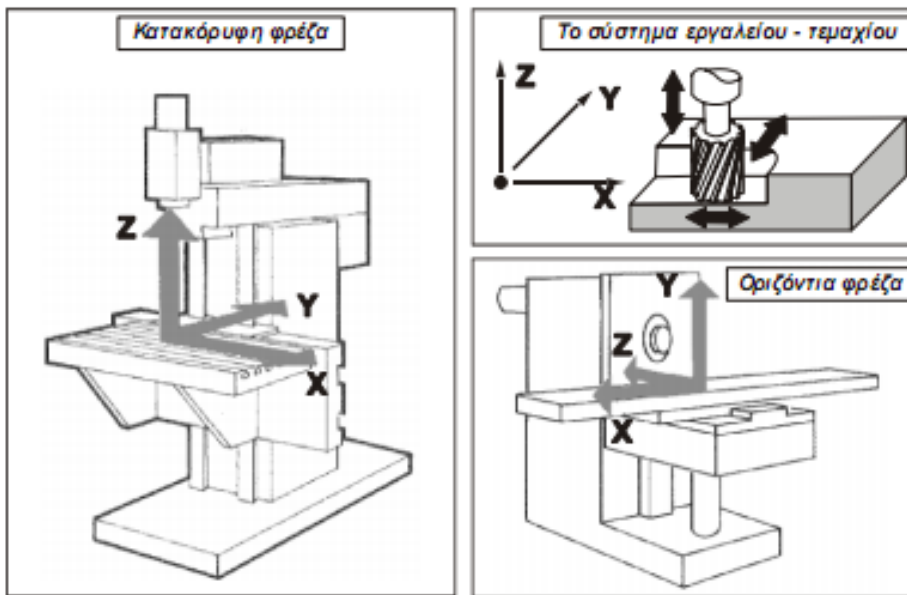
*Εικόνα Ι.3.3*



Παράδειγμα τόννευσης.

Αντίστοιχα, στο φρεζάρισμα με ψηφιακή καθοδήγηση, οι βασικές κινήσεις που εκτελεί ένα εργαλείο ως προς το κατεργαζόμενο κομμάτι, είναι η κάθετη, η διαμήκης και η εγκάρσια. Στις φρέζες με ψηφιακή καθοδήγηση, τουλάχιστον δύο από αυτές τις κινήσεις, δηλαδή η διαμήκης και η εγκάρσια ως προς το τεμάχιο, μπορούν να εκτελεστούν

ανεξάρτητα η μία από την άλλη αλλά και ταυτόχρονα. Ακόμα είναι δυνατές και περιστροφικές κινήσεις. Γι' αυτό το λόγο, συχνά χρησιμοποιείται ο διαχωρισμός μεταξύ των γραμμικών και των περιστροφικών βαθμών ελευθερίας. (Εικόνα I.3.4)



Εικόνα I.3.4



Παράδειγμα φρεζαρίσματος.

Ανάλογα με τους άξονες κατεργασίας μίας μηχανής, αυτή παίρνει ένα αντίστοιχο όνομα. Έτσι, όλοι οι τόννοι ψηφιακής καθοδήγησης είναι τουλάχιστον 2 αξόνων (διαξονικοί). Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και πρέσσες, μηχανές κοπής με laser και plasma, μηχανές ηλεκτροδιάβρωσης, καθώς και μηχανές διάτρησης.

Μία μηχανή, στην οποία κινείται ταυτόχρονα το τραπέζι στους δύο οριζόντιους άξονες, αλλά όχι και στον κατακόρυφο άξονα, λέγεται μηχανή 2 ½ αξόνων. Αν η καθοδήγηση επιτρέπει την ταυτόχρονη κίνηση και στον κατακόρυφο άξονα, η μηχανή είναι 3 αξόνων

(τριαξονική). Μηχανές 3 αξόνων είναι οι φρέζες, οι μετρητικές μηχανές, οι μηχανές διάτρησης και πολλές άλλες.

Τέλος, ανάλογα τις δυνατότητες περιστροφής του τραπεζιού με το κοπτικό εργαλείο, δηλαδή, εάν υπάρχει μία ή και περισσότερες περιστροφικές κινήσεις, μπορεί μια μηχανή να είναι 4, 5 ή 6 αξόνων.

Οι περισσότερες φρέζες είναι τριαξονικές, ενώ περισσότερους άξονες διαθέτουν τα κέντρα κατεργασίας που είναι συνήθως τετραξονικά ή πενταξονικά.

#### **4. Κοπτικά εργαλεία**

Τα κοπτικά εργαλεία στις εργαλειομηχανές είναι αυτά που εκτελούν όλες τις κατεργασίες. Τα εργαλεία κατασκευάζονται από διάφορα υλικά και με διαφορετική γεωμετρία, προκειμένου να είναι κατάλληλα για το είδος τις κατεργασίας που εκτελούν και για το κατεργαζόμενο υλικό και για να προσδίδουν την επιθυμητή ακρίβεια. Στη βιομηχανία υπάρχουν πολλά υλικά κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται (*Εικόνα I.4.1*). Το καλύτερο εργαλείο για μια κατεργασία είναι αυτό που έχει επιλεγθεί προσεκτικά και πραγματοποιεί την κατεργασία γρήγορα, αποδοτικά και οικονομικά.

Ένα κοπτικό εργαλείο, για να παράγει ποιοτικά και οικονομικά κομμάτια, θα πρέπει να διατηρεί τη σκληρότητά του, τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την κοπή, την ανθεκτικότητά του, ώστε να μην θρυμματίζεται κατά την κατεργασία, και την αντοχή του στη φθορά, για να επιτευχτεί η επιθυμητή ζωή του εργαλείου, πριν αυτό χρειαστεί να αντικατασταθεί.

Η ζωή του κοπτικού εργαλείου είναι ο πιο σημαντικός οικονομικός παράγοντας στην κοπή μετάλλων και επηρεάζεται από την ταχύτητα κοπής και την ταχύτητα παραγωγής. Η μείωση της ταχύτητας κοπής αυξάνει τη ζωή του εργαλείου, όμως μειώνει την ταχύτητα παραγωγής. Ενώ αντίθετα, η αύξηση της ταχύτητας κοπής αυξάνει την ταχύτητα παραγωγής αλλά απαιτούνται περισσότερες αλλαγές των φθαρμένων κοπτικών εργαλείων, το οποίο συνεπάγεται αύξηση του κόστους.

Τα κυριότερα υλικά των κοπτικών εργαλείων είναι, ο χάλυβας (ιδιαίτερα ο ταχυχάλυβας HSS - High Speed Steel), τα χυτευτά κράματα (Cast Alloys), τα σκληρομέταλλα (Carbides), τα κεραμικά (Ceramics), τα διαμάντια και οι λειαντικές σκόνες. Τα κοπτικά εργαλεία από ταχυχάλυβα και σκληρομέταλλο είναι αυτά που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερη έκταση για τις κατεργασίες αφαίρεσης υλικού.



Εικόνα I.4.1

Για τις CNC φρέζες και τα κέντρα κατεργασίας, τα πιο σημαντικά εργαλεία είναι τα κονδύλια, τα τρυπάνια, οι σπειροτόμοι ρύμες κ.α.. Στα κονδύλια μπορούμε να έχουμε μέχρι δέκα περίπου πτερύγια.

Ο αριθμός των φτερών - πτερυγίων (flutes) στα κονδύλια φρεζαρίσματος εξαρτάται από το κατεργαζόμενο υλικό, τις διαστάσεις του υπό κατεργασία τεμαχίου και τις συνθήκες κατεργασίας. Γενικά ισχύει ότι όσο περισσότερα πτερύγια τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια αφαίρεσης υλικού.

Για την επιλογή του κατάλληλου εργαλείου πρέπει να προσδιορίσουμε τις επιθυμητές συνθήκες κοπής. Γι αυτό είναι χρήσιμο να ελέγχουμε το βάθος κοπής και την πλάγια μετατόπιση (από τους καταλόγους των κατασκευαστών) και να υπολογίσουμε την ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου και την ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής.

Για τον υπολογισμό των ταχυτήτων αυτών, οι κατασκευαστές παρέχουν την περιφερειακή ταχύτητα και την πρόωση ανά πτερύγιο.

Η *περιφερειακή ταχύτητα* είναι η απόσταση που διανύει το κοπτικό εργαλείο στην περιφέρειά του καθώς περιστρέφεται για να πραγματοποιήσει μια συγκεκριμένη κατεργασία, ή αλλιώς η *ταχύτητα κοπής* (*cutting speed*), και συμβολίζεται με  $v_c$  και μετριέται σε μέτρα ανά λεπτό (m/min).

Η *πρόωση κοπής*  $f$  (*cutting feed*) είναι η απόσταση την οποία διανύει το κοπτικό ή το υπό κατεργασία τεμάχιο (μετατόπιση τραπέζης εργαλειομηχανής), κατά τη διάρκεια μιας περιστροφής της κυρίας ατράκτου της εργαλειομηχανής (spindle) μαζί με το κοπτικό, μετρούμενη σε ίντσες ανά περιστροφή (IPR) ή mm ανά περιστροφή (mm/rev). Για ένα πολύφτερο κοπτικό εργαλείο (multi-point tool), η πρόωση κοπής

ισούνται με τη *πρόωση ανά δόντι*  $f_z$  (*feed per tooth*) και μετριέται σε ίντσες ανά δόντι (IPT) ή mm/δόντι, πολλαπλασιασμένη με τον αριθμό των δοντιών του κοπτικού.

Παρακάτω παρουσιάζεται η βασική ορολογία και διάφοροι συμβολισμοί κατά το φρεζάρισμα:

$D_c$  : Διάμετρος κοπής (mm)

$l_m$  : Υπό κατεργασία μήκος (mm)

$a_p$  : Βάθος κοπής (mm)

$a_e$  : Πλάτος κοπής (mm)

$v_c$  : Ταχύτητα κοπής (m/min)

$z_n$  : Αριθμός δοντιών

$f_z$  : Πρόωση ανά δόντι (mm/δόντι)

$f_n$  : Πρόωση ανά περιστροφή (mm/rev)

$v_f$  : Ταχύτητα πρόωσης τραπέζης (mm/min)

$h_{ex}$  : Μέγιστο πάχος αποβλήτου (mm)

$h_m$  : Μέσο θεωρητικό πάχος αποβλήτου (mm)

$n$  : Στροφές ατράκτου (RPM)

$k_r$  : Βασική γωνία κοπής (degrees)

Οι βασικές σχέσεις υπολογισμού είναι:

**Ταχύτητα κοπής ( $v_c$ ) :** 
$$v_c = \frac{n \cdot \pi \cdot D_c}{1000} \quad [ \text{m/min} ]$$

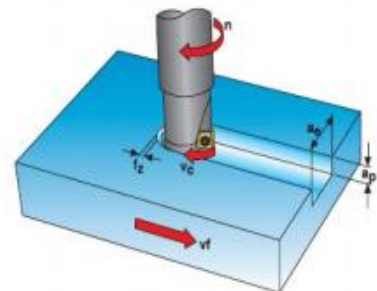
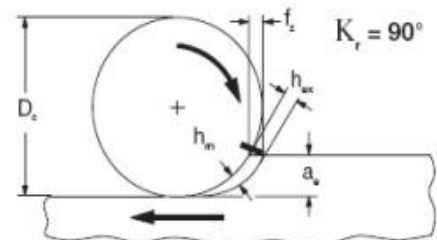
**Στροφές ατράκτου (RPM) :** 
$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} \quad [ \text{rev/min} ]$$

**Ταχύτητα πρόωσης ( $v_f$ ) :** 
$$v_f = n \cdot z_n \cdot f_z \quad [ \text{mm/min} ]$$

$$v_f = n \cdot z_c \cdot f_z \quad [ \text{mm/min} ]$$

**Πρόωση ανά δόντι ( $f_z$ ) :** 
$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z_n} \quad [ \text{mm/δόντι} ]$$

**Πρόωση ανά περιστροφή ( $f_n$ ) :** 
$$f_n = \frac{v_f}{n} \quad [ \text{mm/rev} ]$$



## 5. Κώδικας εργαλειομηχανής

Η παραγωγή του κώδικα της εργαλειομηχανής είναι το τελευταίο στάδιο της εικονικής δημιουργίας των διαφόρων κατεργασιών. Τελειώνοντας, για παράδειγμα, τις κατεργασίες κοπής ενός μοντέλου κατεργασίας, οι διαδρομές των εργαλείων πρέπει να ενωθούν και να μεταφραστούν στον κώδικα της εργαλειομηχανής. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί κωδικοποιητές, καθώς υπάρχουν και πολλές διαφορετικές εργαλειομηχανές. Για αυτό το λόγο, πρέπει να βρεθεί ο σωστός κωδικοποιητής για την κάθε εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται.

Ο κώδικας της εργαλειομηχανής πρέπει να περιέχει συντεταγμένες για την κίνηση του εργαλείου και του κομματιού, όπως επίσης και πληροφορίες για τον έλεγχο των συστημάτων της εργαλειομηχανής, όπως είναι η ταχύτητα περιστροφής, η χρήση του ψυκτικού υγρού και η αλλαγή του κοπτικού εργαλείου.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις στον τρόπο σύνταξης και αποστολής ενός κώδικα σε μια μηχανή αριθμητικού ελέγχου, οι οποίες είναι η χειρονακτική (Manual), η ηλεκτρονικά υποβοηθούμενη (Computer assisted) και η αυτόματη προσέγγιση.

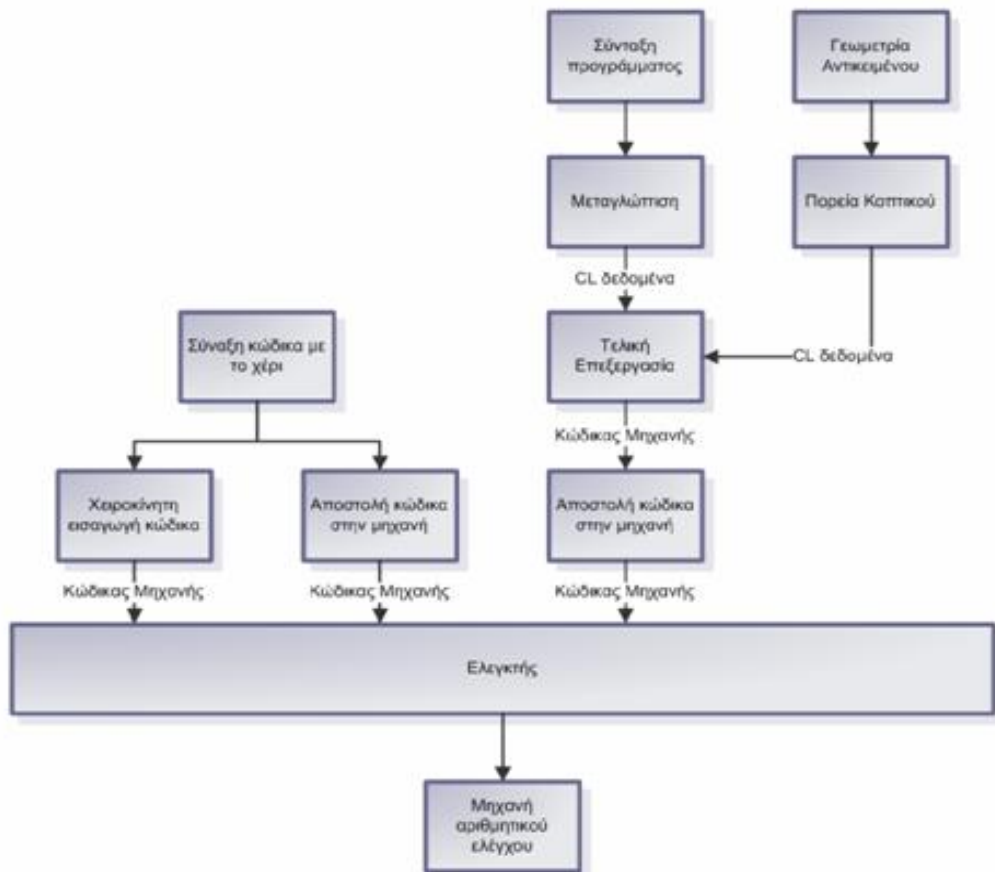
Στην χειρονακτική, ο κώδικας συντάσσεται στο χέρι χρησιμοποιώντας τριγωνομετρικές και αλγεβρικές σχέσεις και μεταφέρεται στην κεντρική μονάδα της μηχανής είτε από το πληκτρολόγιο της μηχανής είτε μέσω κάποιου άλλου μέσου μετάδοσης όπως διάτρητες κάρτες (σε πιο παλιές μηχανές), σειριακή θύρα (RS232) και δίκτυο (Ethernet). Η δημιουργία κώδικα με αυτόν τον τρόπο είναι αρκετά πολύπλοκη και χρονοβόρα, ειδικά για πολύπλοκα κομμάτια και ιδιαίτερα για αυτά με επιφάνειες ελεύθερης μορφής. Επίσης, μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν συντακτικά και υπολογιστικά λάθη στο πρόγραμμα ή να γίνει λάθος εισαγωγή δεδομένων στη μηχανή.

Σύμφωνα με την ηλεκτρονικά υποβοηθούμενη προσέγγιση, περιγράφεται σε μια γλώσσα προγραμματισμού η γεωμετρία του αντικειμένου καθώς και η επιθυμητή πορεία του κοπτικού και με βάση αυτά γίνεται αυτόματα η δημιουργία του αρχείου θέσης κοπτικού (CL File – Cutter Location File). Στη συνέχεια ένας κατάλληλα ρυθμισμένος τελικός επεξεργαστής (Post-processor) αναλαμβάνει την μετατροπή του αρχείου θέσης κοπτικού σε αρχείο με κώδικα που αντιλαμβάνεται η εκάστοτε μηχανή. Από εκείνο το σημείο και μετά γίνεται η μετάδοση του αρχείου στην μηχανή όπως και στην χειροκίνητη προσέγγιση. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιείται πριν την ανάπτυξη των συγχρόνων CAD/CAM συστημάτων.

Τέλος στην αυτόματη προσέγγιση το κομμάτι που θέλουμε να κατασκευάσουμε σχεδιάζεται σε ένα πρόγραμμα CAD και στην συνέχεια περιγράφουμε την γεωμετρία του, ώστε να δημιουργηθεί αυτόματα η πορεία που θα ακολουθήσει το κοπτικό. Τα δεδομένα αυτά δημιουργούν το αρχείο θέσης του κοπτικού (CL File – Cutter Location File), το οποίο με ένα κατάλληλα ρυθμισμένο τελικό επεξεργαστή μετατρέπεται σε αρχείο με κώδικα που αντιλαμβάνεται η εκάστοτε μηχανή. Από εκείνο το σημείο και



μετά γίνεται η μετάδοση του αρχείου στην μηχανή όπως και στην χειροκίνητη προσέγγιση. Στα σύγχρονα συστήματα CAD/CAM, τα κυριότερα προγράμματα που χρησιμοποιούνται είναι CATIA – Dassault, Pro/ENGINEER – PTC, UG – Unigraphics solutions, I-DEAS – SCDR/ Unigraphics solutions, Solidworks – Solidworks/ Dassault, Inventor/ Autocad – Autodesk και πολλά άλλα.



Το αρχείου θέσης κοπτικού (CL File – Cutter Location File) είναι ένα πρόγραμμα κατεργασίας του αντικειμένου, γραμμένο σε APT.

Η APT (Automatically Programmed Tools) είναι η πρώτη και πιο αντιπροσωπευτική γλώσσα προγραμματισμού CNC. Είναι προσανατολισμένη στον ορισμό γεωμετρίας και λιγότερο στη λύση τεχνολογικών θεμάτων της κοπής. Έχει την δυνατότητα προγραμματισμού 5 αξόνων και έχει επηρεάσει τη δημιουργία πολλών παρόμοιων γλωσσών, όπως NELAPT και EXAPT, οι οποίες όμως καλύπτουν και την τεχνολογία κοπής, όπως υπολογισμό πασών (διαδοχικών περασμάτων), πρόωσης κλπ.

Η APT περιλαμβάνει τρία είδη εντολών. Αυτές που ορίζουν γεωμετρία η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της τροχιάς του εργαλείου, αυτές που ορίζουν τις κινήσεις του εργαλείου και αυτές που συμπληρώνουν το πρόγραμμα με τον ορισμό τεχνολογικών παραμέτρων (πρόωση, αλλαγή εργαλείου κλπ) αλλά και παραμέτρων διαχείρισης του προγράμματος.



Ο κώδικας μηχανής είναι ο κώδικας που αντιλαμβάνεται η μηχανή. Ο κώδικας απαρτίζεται από ένα πλήθος εντολών που εκτελούν διαφορές λειτουργίες στην μηχανή. Οι εντολές είναι χωρισμένες, ανάλογα με την λειτουργία τους, σε 7 κατηγορίες.

- Αριθμός πρότασης (Nxxx): Δηλώνει τον αριθμό του σετ εντολών.
- Εντολές δραστηριοποίησης κίνησης (Gxx): Είναι οι εντολές που δίνουν πληροφορίες για το είδος της κίνησης που θα εκτελέσει το κοπτικό.
- Συντεταγμένες (X,Y,Z, A και B): Δηλώνουν τις συντεταγμένες και τον προσανατολισμό του κοπτικού.
- Πρόωση (F): Δηλώνουν την ταχύτητα με την οποία γίνεται μια κίνηση.
- Ταχύτητα περιστροφής (S): Δηλώνει την ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου
- Κοπτικό (T): Δηλώνει το κοπτικό που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση ενός μπλοκ εντολών
- Βοηθητικές λειτουργίες (M): Δηλώνουν την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση κάποιων προσθετών λειτουργιών (π.χ. ενεργοποίηση της ατράκτου, ροή ψυκτικού κλπ) .

Κάθε σετ εντολών αποτελείται κυρίως από εντολές δραστηριοποίησης κίνησης (κώδικες G) ή/και από βοηθητικές λειτουργίες (κώδικες M). Στο τέλος κάθε μπλοκ εντολών εισάγεται και ο χαρακτήρας eob που δηλώνει το τέλος του μπλοκ εντολών που πρέπει να εκτελεστεί.

Οι προκαταρκτικοί κώδικες λειτουργίας ή κώδικες G προετοιμάζουν την μηχανή έτσι ώστε να γνωρίζει τι να κάνει με τις υπόλοιπες πληροφορίες. Οι βασικότεροι κώδικες G μιας τυπικής φρέζας CNC με σύστημα ελέγχου FANUC είναι:

G	00	Ευθύγραμμη κίνηση με ταχεία πρόωση
G	01	Γραμμική παρεμβολή
G	02	Κυκλική παρεμβολή με την φορά των δεικτών του ρολογιού
G	03	Κυκλική παρεμβολή αντίθετα από την φορά των δεικτών του ρολογιού
G	04	Χρονικά καθορισμένη αναμονή
G	33	Κοπή σπειρώματος με σταθερό βήμα
G	40	Ακύρωση της αντιστάθμισης των κοπτικών
G	43	Αντιστάθμιση μήκους του κοπτικού
G	70	Προγραμματισμός σε αγγλοσαξονικό σύστημα
G	71	Προγραμματισμός σε μετρικό σύστημα
G	90	Απόλυτο σύστημα συντεταγμένων
G	91	Σχετικό σύστημα συντεταγμένων

Η εντολή κώδικα M χρησιμοποιείται για τον έλεγχο παραλειπόμενων λειτουργιών, όπως είναι η εκκίνηση της ατράκτου, η στάση, η αλλαγή κοπτικού εργαλείου κτλ. Σε κάθε μπλοκ είναι δυνατόν να ορισθεί μόνο μια λειτουργία M. Οι λειτουργίες M παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

M	00	Διακοπή προγράμματος
M	01	Προαιρετική διακοπή προγράμματος
M	02	Τέλος προγράμματος
M	03	Δεξιόστροφη περιστροφή της ατράκτου
M	04	Αριστερόστροφη περιστροφή της ατράκτου
M	05	Διακοπή λειτουργίας ατράκτου
M	06	Αλλαγή κοπτικού
M	07	Ψυκτικό σε μορφή ομίχλης
M	08	Ψυκτικό σε ροή
M	09	Διακοπή ψυκτικού
M	19	Προσανατολισμός ατράκτου
M	30	Τέλος ταινίας
M	48	Παράκαμψη – ακύρωση OFF
M	49	Παράκαμψη – ακύρωση ON
M	98	Μεταφορά σε υποπρόγραμμα
M	99	Μεταφορά στο κύριο πρόγραμμα (τέλος υποπρογράμματος)

## 6. Στάδια μελέτης για προγραμματισμό CNC

Τα στάδια μελέτης που είναι απαραίτητο να γίνουν πριν τον προγραμματισμό της κατεργασίας, που περιγράφηκε προηγουμένως, είναι :

- Η επιλογή της μηχανής (κατάλληλη και επιθυμητή μηχανή, κάθετη ή οριζόντια, διάφορες πολυαξονικές κ.α.)
- Η επιλογή του τρόπου συγκράτησης (προσδιορισμός διαστάσεων του ακατέργαστου κομματιού, σχεδιασμός ιδιοσκευής-fixtured για την καλύτερη συγκράτησή του)
- Ο προσδιορισμός των φάσεων κατεργασίας (ανάλογα με την γεωμετρία του κατεργαζόμενου κομματιού, γενικά επιθυμούμε όσο το δυνατόν λιγότερες φάσεις για να εξοικονομήσουμε χρόνο και κόστος)
- Ο προσδιορισμός των σταδίων κατεργασίας (όπως η προεργασία- preparation, το ξεχόνδρισμα- roughing, το προφινίρισμα- semi-finish και το φινίρισμα- finish και δημιουργία υποδομής στο υπόλοιπο υλικό για την επόμενη φάση και γενικός προσδιορισμός κατεργασιών)

## II. Pro/Manufacturing

### 1. Εισαγωγή

Το **Pro/Manufacturing** αποτελεί ένα από τα βασικά υποσυστήματα του Pro/Engineer. Το υποσύστημα αυτό επιτρέπει τη δημιουργία και την εκτέλεση προγραμμάτων για μηχανές αριθμητικού ελέγχου, τη δημιουργία προγραμμάτων για την επιθεώρηση κομματιών καθώς και άλλες λειτουργίες που σχετίζονται και με άλλα υποσυστήματα του Pro/Engineer. Πιο συγκεκριμένα, το Pro/Manufacturing δημιουργεί τα αναγκαία δεδομένα για την καθοδήγηση του εργαλείου σε μια μηχανή αριθμητικού ελέγχου, για την κατεργασία ενός κομματιού το οποίο έχει ήδη μοντελοποιηθεί στο λογισμικό CAD του Pro/Engineer. Γίνεται ακριβής προσδιορισμός της διαδικασίας κατασκευής του κομματιού, καθώς υπάρχει η δυνατότητα ορισμού όλων των παραμέτρων κοπής και επιλογής των κατάλληλων κοπτικών εργαλείων και επίσης, το πιο βασικό, γίνεται προσομοίωση των κατεργασιών στον υπολογιστή. Βάσει της προσομοίωσης γίνεται έλεγχος για τυχόν λάθη και βελτιστοποιούνται οι κατεργασίες. Έπειτα, αφού επιλεγεί η κατάλληλη αλληλουχία κατεργασιών, το λογισμικό έχει τη δυνατότητα να εξάγει τις κατεργασίες αυτές σε μορφή συμβατού κώδικα με την συγκεκριμένη μηχανή που θα κατεργαστεί το κομμάτι. Ο κώδικας αυτός, στη συνέχεια, μεταφέρεται στη μηχανή μέσω κατάλληλου λογισμικού, συνήθως μέσω θύρας RS-232.

Το Pro/Manufacturing αποτελείται από τα παρακάτω υποσυστήματα:

- ✳ **Pro/NC**

Το Pro/NC είναι το κύριο υποσύστημα του Pro/Manufacturing με το οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε προγράμματα για μηχανές αριθμητικού ελέγχου (φρέζες, τόρνους, μηχανές ηλεκτροδιάβρωσης κ.α.)

- ✳ **Expert machinist**

Το Expert machinist είναι ένα υποσύστημα του Pro/Manufacturing, το οποίο προσφέρει ένα γραφικό περιβάλλον όπου μπορούν να δημιουργηθούν πιο εύκολα και γρήγορα ακολουθίες αριθμητικού ελέγχου, με σκοπό τη δημιουργία προγραμμάτων για φρέζες τριών αξόνων. Το πρόγραμμα αυτό παρέχει ένα σύνολο 18 έτοιμων κατεργασιών όπως κατεργασία προσώπου, προφίλ, διάνοιξη κοιλότητας, οπής και καναλιού, όπως φαίνεται στο παρακάτω πλαίσιο:



- ✳ **Pro/Process**

Το Pro/Process είναι ένα υποσύστημα του Pro/Manufacturing στο οποίο γίνεται ο προγραμματισμός των κατεργασιών για την δημιουργία του κομματιού καθώς και οι φάσεις στις οποίες θα δημιουργηθεί.

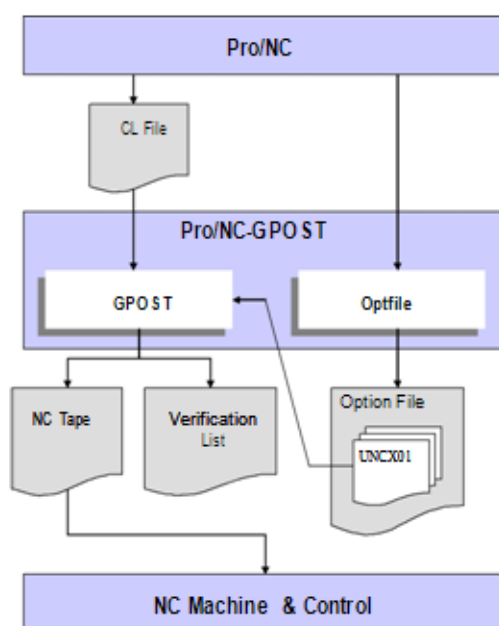
### ✳ **Pro/CMM**

Το Pro/CMM είναι το τελευταίο υποσύστημα του Pro/Manufacturing με το οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε προγράμματα για μετρητικές μηχανές για την επιθεώρηση των χαρακτηριστικών ενός κομματιού.

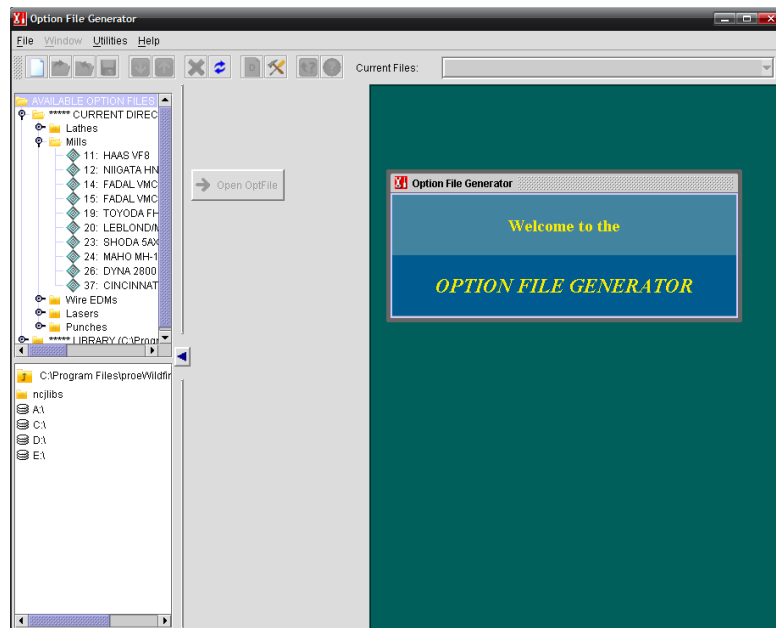
### ✳ **Pro/NC-GPost**

Το Pro/NC-GPost είναι το υποσύστημα εκείνο στο οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε και να ρυθμίσουμε τους τελικούς επεξεργαστές για να μετατρέψουμε το αρχείο θέσης κοπτικού σε αρχείο κώδικα μηχανής.

Κάθε κατεργασία (NC Sequence) αποτελεί ένα CL Data (Cutter Location Data) αρχείο, το οποίο αντιπροσωπεύει την τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Στα αρχεία αυτά πρέπει να γίνει κατάλληλη επεξεργασία ώστε να αναγνωρίζονται από την εργαλειομηχανή. Η επεξεργασία αυτή γίνεται, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις στο αρχείο Post Processor File, το οποίο εξαρτάται από τον τύπο της μηχανής (το γραφικό περιβάλλον δημιουργίας τελικού επεξεργαστή εμφανίζεται από την γραμμή εργαλείων του Pro/Manufacturing: Applications → NC Post Processor - *Εικόνα II.1.2*). Ο Post Processor αποτελεί τον συνδετικό κρίκο του υπολογιστή με την εργαλειομηχανή, αφού σε αυτόν αποστέλλονται τα CL Data αρχεία και αυτός με τη σειρά του δημιουργεί τον κατάλληλο κώδικα που κατανοεί η εργαλειομηχανή (συνήθως G κώδικα). Επομένως, το σύστημα Pro/NC-GPost χωρίζεται σε δυο διακριτά μέρη, στο μέρος που αναλαμβάνει την μεταγλώττιση του CL-File και στο μέρος που περιλαμβάνει ένα σύστημα, το οποίο, μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος, βοηθά στον καθορισμό των ρυθμίσεων για την εκάστοτε μηχανή αριθμητικού ελέγχου (βλ. *Εικόνα II.1.1*).

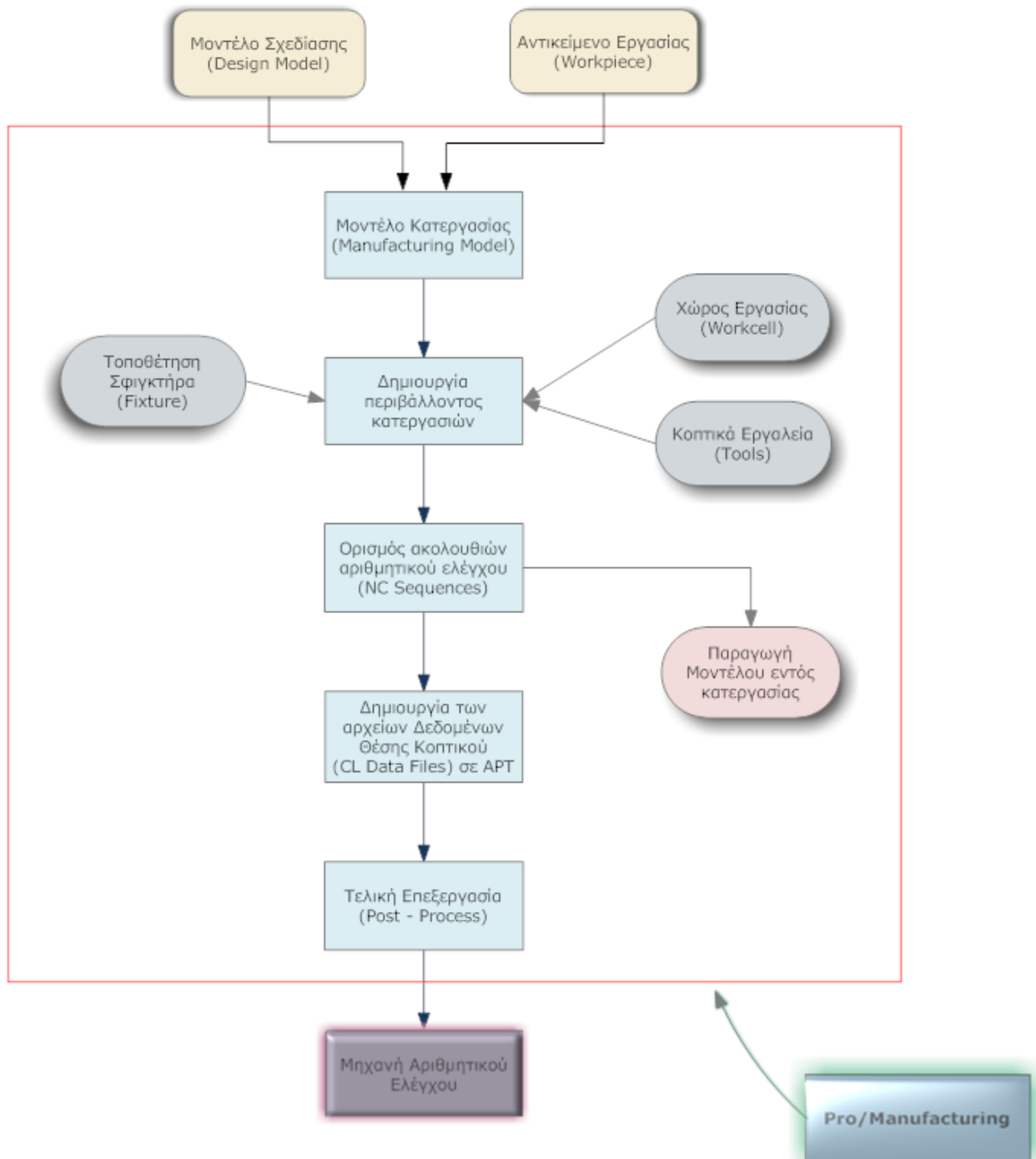


*Εικόνα II.1.1*



Εικόνα ΙΙ.1.2

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα ροής για το Pro/Manufacturing.



### ΙΙΙ. Pro/NC

#### 1. Εισαγωγή

Το Pro/NC, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, αποτελεί το κύριο υποσύστημα του Pro/Manufacturing για την δημιουργία προγραμμάτων για CNC εργαλειομηχανές.

Το μοντέλο σχεδίασης, ή αλλιώς το τελικό αντικείμενο (Reference Model), αντιπροσωπεύει την τελική μορφή του μοντέλου, που χρησιμοποιείται ως βάση για τις επιθυμητές κατεργασίες. Το αντικείμενο εργασίας (προς κατεργασία) (Workpiece) αποτελεί το ακατέργαστο αντικείμενο που θα κατεργαστούμε για να σχηματίσουμε το τελικό αντικείμενο. Το μοντέλο κατεργασίας (Manufacturing Model) αποτελεί την συναρμολόγηση των δυο παραπάνω και μας δίνει μια αναπαράσταση του αντικειμένου, πριν και μετά την κατεργασία. Επίσης, εάν προσθέσουμε την γεωμετρία των κοπτικών (Tool geometry) καθώς και το χώρο εργασίας της μηχανής (Workcell) παίρνουμε το περιβάλλον κατεργασίας (Manufacturing Environment) και με την τοποθέτηση του μοντέλου κατεργασίας στον σφικτήρα (Fixture), σε δεδομένο περιβάλλον κατεργασίας, μπορούμε να ορίσουμε μια λειτουργία (Operation), η οποία είναι μια σειρά από ακολουθίες αριθμητικού ελέγχου (NC Sequences) που δημιουργούνται μέσα σε ένα συγκεκριμένο χώρο εργασίας έχοντας υπόψη ένα συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων. Οι ακολουθίες αυτές περιλαμβάνουν στοιχεία της γεωμετρίας του αντικειμένου και κάποιες παραμέτρους οι οποίες ορίζουν τον τρόπο κίνησης του κοπτικού και την ταχύτητα του.

Αφού οριστεί μια ακολουθία αριθμητικού ελέγχου (NC Sequence) μπορούμε να κατασκευάσουμε το αρχείο θέσης του κοπτικού (CL File) ώστε να εκτελέσουμε μια προσομοίωση κοπής με το Vericut. Εάν η προσομοίωση δεν μας δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα τότε πρέπει να επαναπροσδιορίσουμε κάποιες από τις παραμέτρους ή κάποια από τα άλλα στοιχεία που έχουμε δώσει κατά την διάρκεια της δημιουργίας της ακολουθίας. Εάν η προσομοίωση μας δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα μπορούμε να αφαιρέσουμε τον όγκο που κατεργαστήκαμε και να συνεχίσουμε ανάλογα με το στάδιο που βρισκόμαστε στον ορισμό της επόμενης ακολουθίας ή στην τελική επεξεργασία του αρχείου θέσης του κοπτικού.

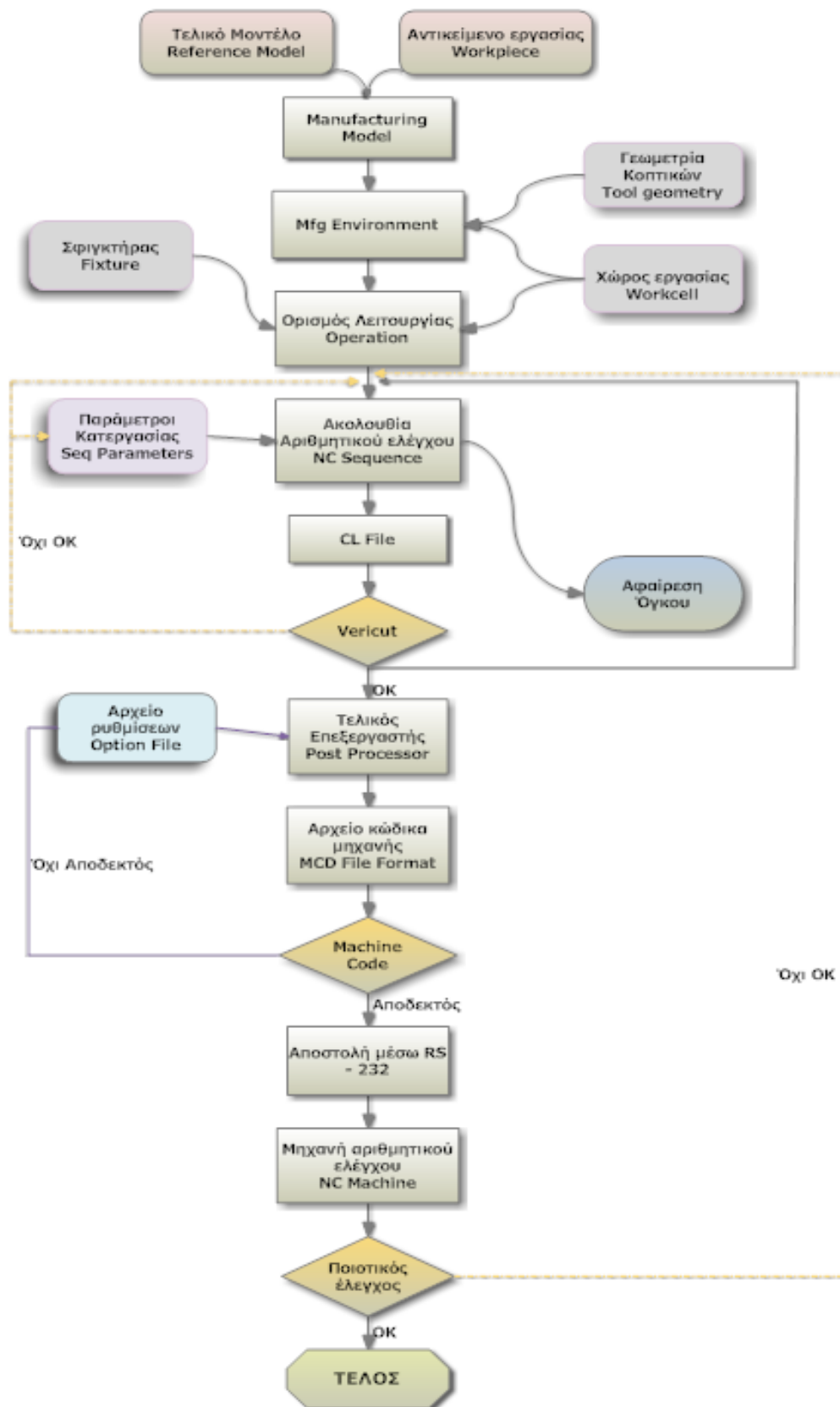
Η τελική επεξεργασία των δεδομένων (Post Process) είναι μια διαδικασία κατά την διάρκεια της οποίας το αρχείο θέσης του κοπτικού μετατρέπεται σε αρχείο με κώδικα κατανοητό από την μηχανή, με βάση τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει στο γραφικό περιβάλλον του τελικού επεξεργαστή (Post Processor). Εάν το αποτέλεσμα της τελικής επεξεργασίας δεν ταιριάζει απόλυτα με αυτά που απαιτεί η μηχανή τότε επαναπροσδιορίζουμε τις ρυθμίσεις του τελικού επεξεργαστή (Option File). Εάν η μορφή κώδικα είναι αποδεκτή από την μηχανή, τότε προχωράμε στην αποστολή του προγράμματος στην μηχανή με την βοήθεια της θύρας RS-232. Το πρόγραμμα αποστολής μέσω της θύρας RS-232 θα πρέπει να είναι και αυτό συγχρονισμένο με την

μηχανή αριθμητικού ελέγχου όσον αφορά την ταχύτητα της μετάδοσης των δεδομένων και το μέγεθος των αποστελλόμενων πακέτων.

Μόλις αποσταλεί το πρόγραμμα στην μηχανή, μπορούμε να προχωρήσουμε στην κατεργασία του κομματιού. Εάν το αποτέλεσμα της κατεργασίας δεν μας ικανοποιεί τότε επαναπροσδιορίζουμε κάποια ή κάποιες από τις ακολουθίες αριθμητικού ελέγχου.

Όλα όσα προαναφέρθηκαν παρουσιάζονται διαγραμματικά στο παρακάτω σχήμα. Οι βρόγχοι με το κίτρινο χρώμα εκτελούνται πολλές φορές στην αρχή της χρήσης του προγράμματος και της μηχανής, όπου ο χρήστης μπορεί να ελέγχει και να γνωρίζει τα αποτελέσματα των ρυθμίσεων, χωρίς να ανατρέχει συχνά στις ρυθμίσεις των παραμέτρων. Αντίστοιχα, ο βρόγχος με το μωβ χρώμα εκτελείται κυρίως, μόνο, κατά την δημιουργία του τελικού επεξεργαστή και μέχρι να επιτύχουμε τις επιθυμητές ρυθμίσεις.





## 2. Ακολουθίες αριθμητικού ελέγχου

Οι ακολουθίες αριθμητικού ελέγχου (NC Sequences) που χρησιμοποιούνται για φρεζάρισμα, χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- **Volume:** αναφέρεται σε κατεργασία ενός συγκεκριμένου όγκου ανοιχτού ή κλειστού ο οποίος αφαιρείται με διαδοχικά παράλληλα περάσματα 2.5 αξόνων (παράλληλα στο επίπεδο επιστροφής).
- **Local Mill:** κατεργάζεται κάποιο όγκο, ο οποίος έχει απομείνει από μια προηγούμενη κατεργασία. Η κατεργασία αυτή γίνεται συνήθως με κοπτικό μικρότερης διαμέτρου. Συνήθως αναφέρεται σε ακολουθία Volume, αλλά μπορεί να αναφέρεται και σε μια ακολουθία Profile, Conventional Surface, Contour Surface ή μια προηγούμενη Local Milling.
- **Surface Mill:** χρησιμοποιείται για την κατεργασία κάποιας επιφάνειας με 2.5-5 άξονες.
- **Face:** αναφέρεται στην κατεργασία της άνω επιφάνειας του αντικειμένου με διαδοχικά περάσματα 2.5 αξόνων. Χρησιμοποιείται για να 'κατεβάσει' την πρόσοψη του Workpiece με ένα επίπεδο ή ακτινικό φρεζάρισμα.
- **Profile:** αναφέρεται στην κατεργασία ενός μέρους ή ολόκληρης της περιφέρειας ενός αντικειμένου με διαδοχικά περάσματα 2.5-5 αξόνων. Για εκχόνδριση ή τελική αποπεράτωση κάθετων ή διαγώνιων επιφανειών. Στις επιλεγμένες επιφάνειες πρέπει να είναι δυνατή η ύπαρξη μιας συνεχούς πορείας του κοπτικού εργαλείου.
- **Pocketing:** είναι μια ακολουθία που έχει ως σκοπό την αποπεράτωση κοιλοτήτων, ύστερα από μια αρχική εκχόνδριση, ή για απευθείας αποπεράτωση. Η κοιλότητες μπορεί να περικλείουν οριζόντιες, κάθετες ή διαγώνιες επιφάνειες. Οι επιλεγμένες επιφάνειες πρέπει και εδώ να επιτρέπουν την ύπαρξη μιας συνεχούς πορείας του κοπτικού εργαλείου.
- **Trajectory:** έχει ως σκοπό την κατεργασία του όγκου του αντικειμένου που βρίσκεται πάνω σε μια τροχιά που έχει οριστεί από τον χρήστη. Υπάρχουν πολλές δυνατότητες καθορισμού της πορείας του κοπτικού, επιλέγοντας ο χρήστης τον τρόπο με τον οποίο το κοπτικό ακολουθεί μια κίνηση κοπής ή συνδέοντας μαζί πολλαπλές κινήσεις κοπής.
- **Holemaking:** έχει ως σκοπό την δημιουργία και κατεργασία οπών πάνω σε κάποια από τις επιφάνειες του αντικειμένου. Οι οπές δημιουργούνται επιλέγοντας αρχικά τον κατάλληλο τύπο (διάτρηση-drill, πρόσοψη-face, διεύρυνση ανοίγματος οπής-countersink κτλ.), στη συνέχεια επιλέγοντας τις οπές και τέλος, προσδιορίζοντας την μέθοδο σύνδεσης των οπών μεταξύ τους.
- **Thread:** έχει ως σκοπό την δημιουργία σπειρωμάτων τόσο σε εσωτερικές όσο και σε εξωτερικές κυλινδρικές επιφάνειες.
- **Engraving:** έχει ως σκοπό την χάραξη. Το κοπτικό εργαλείο ακολουθεί ένα προσχεδιασμένο αυλάκι.
- **Plunge:** έχει δημιουργηθεί για την εκχόνδριση κοιλοτήτων μεγάλου βάθους με

διαδοχικά βυθίσματα του κοπτικού μέσα στο όγκο του κομματιού.

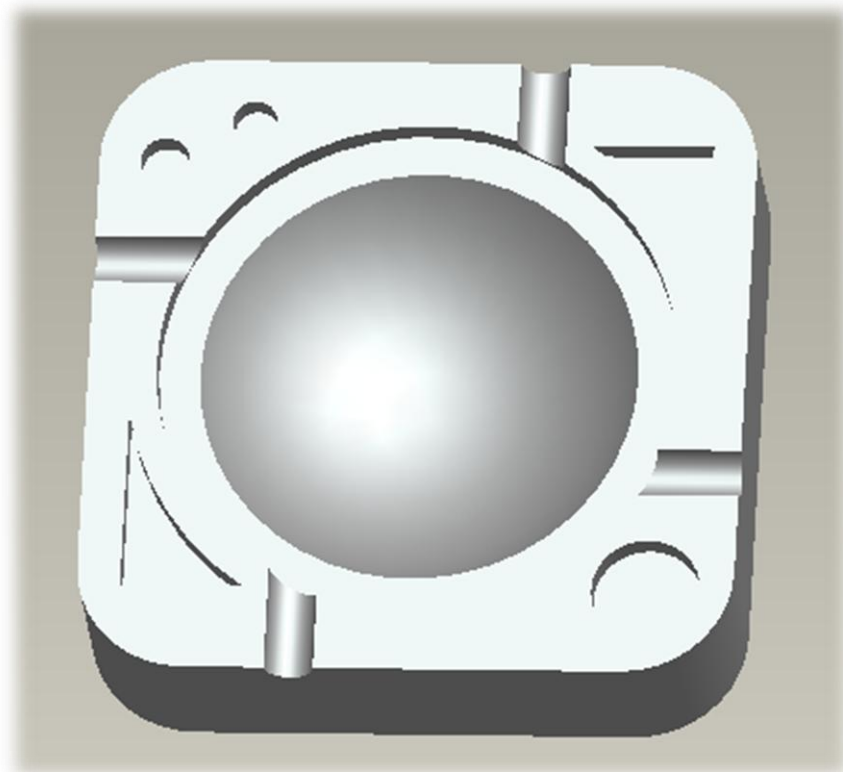
Τέλος, οι ακολουθίες Roughing, Re-Roughing και Finishing αναφέρονται στην εκχόνδριση ή αποπεράτωση συγκεκριμένων περιοχών του αντικειμένου με κατεργασία υψηλών ταχυτήτων.

### 3. Δημιουργία μοντέλου κατεργασίας

Το μοντέλο κατεργασίας αποτελεί μια συναρμολόγηση, η οποία περιέχει την γεωμετρία του τελικού αντικειμένου και μπορεί να περιέχει και την γεωμετρία του αρχικού (ακατέργαστου) αντικειμένου (εάν όχι μπορούμε να το δημιουργήσουμε όπως θα δούμε παρακάτω). Εισάγοντας την μορφή του αρχικού αντικειμένου το Pro/Manufacturing μπορεί να υπολογίσει τα όρια καθώς και τις παραμέτρους της κατεργασίας, όπως επίσης παρέχει την δυνατότητα της δυναμικής προσομοίωση της κατεργασίας με την βοήθεια του προγράμματος Vericut. Εισάγοντας το αρχικό αντικείμενο επίσης μπορούμε να έχουμε αναπαράσταση του υλικού που απομακρύνεται από κάθε κατεργασία.

Προκειμένου να κατασκευασθεί το μοντέλο κατεργασίας είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τόσο το αντικείμενο που έχουμε σκοπό να κατασκευάσουμε όσο και το κομμάτι ακατέργαστου υλικού από το οποίο αυτό θα προέλθει. Το τελικό κομμάτι είναι απαραίτητο να έχει μοντελοποιηθεί εκ των προτέρων σε ένα σύστημα CAD, ενώ το αρχικό κομμάτι μπορεί είτε να κατασκευασθεί στο Pro/Manufacturing για σχετικά απλές γεωμετρίες είτε να μοντελοποιηθεί όπως το τελικό κομμάτι για πιο συνθέτες γεωμετρίες π.χ. ενδιάμεσα προϊόντα.

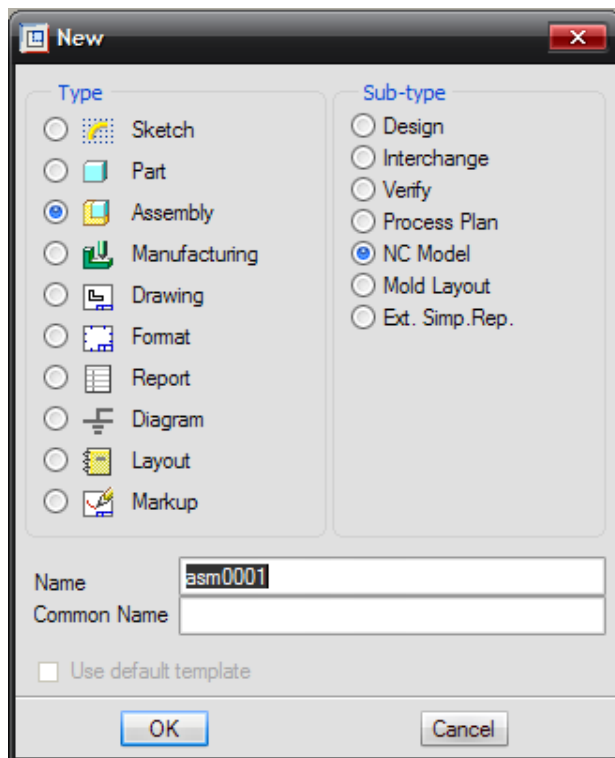
Το συγκεκριμένο αντικείμενο που θέλουμε να κατεργαστούμε είναι ένα δοκίμιο από αλουμίνιο με πάχος 30mm, πλάτος 120mm και μήκος 120mm, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου φαίνονται στο μηχανολογικό σχέδιο που υπάρχει στα Παραρτήματα.



Η κατασκευή του μοντέλου κατεργασίας γίνεται ως εξής:

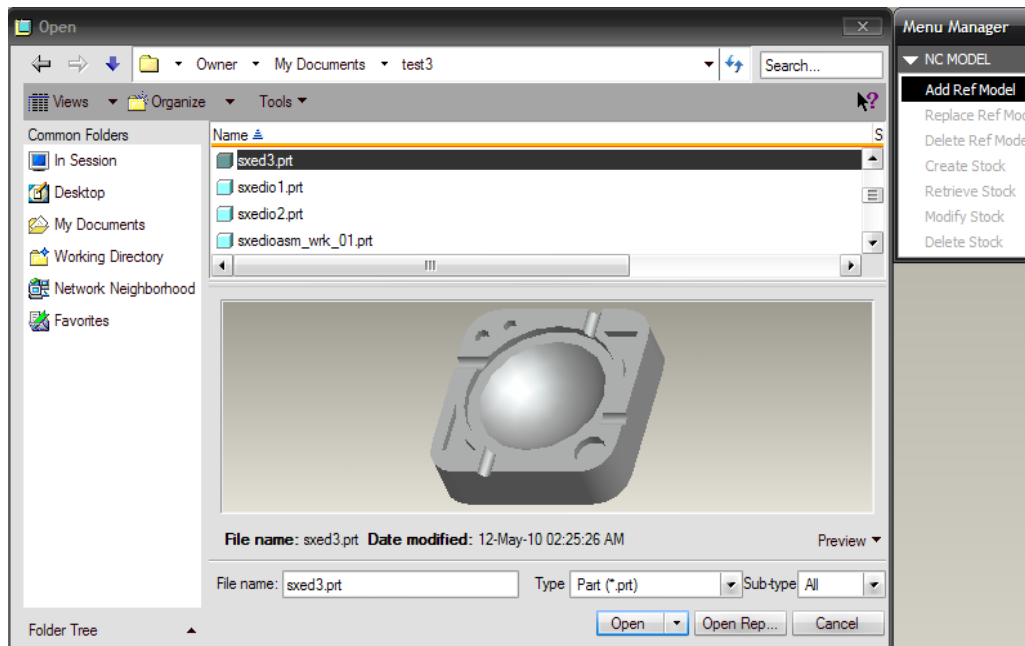
Εκκινούμε το Pro/ENGINEER Wildfire. Στη συνέχεια, από την καρτέλα File του Wildfire 4 επιλέγουμε Set Working Directory και εντοπίζουμε το φάκελο που είναι τοποθετημένο το τελικό καθώς και το προς κατεργασία κομμάτι (αν υπάρχει). Αυτό εξασφαλίζει ότι όλες οι αποθηκεύσεις αρχείων που θα κάνετε θα γίνονται σε αυτόν το φάκελο που ορίσατε ως Working Directory.

Από την καρτέλα File επιλέγουμε New για να εμφανιστεί το παράθυρο δημιουργίας ενός νέου εγγράφου (*Εικόνα ΙΙΙ.3.1*) επιλέγουμε Assembly, NC Model και γράφουμε το όνομα του μοντέλου κατεργασίας.



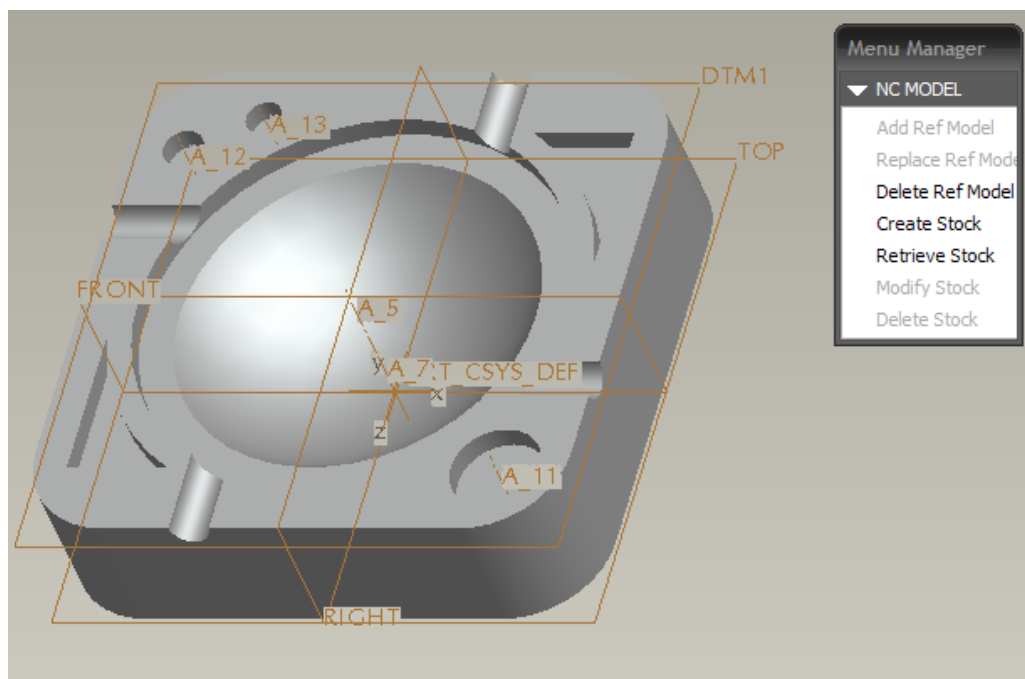
*Εικόνα ΙΙΙ.3.1*

Αφού πατήσουμε OK μας εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο μας ζητείται να επιλέξουμε το τελικό αντικείμενο – Reference Model (*Εικόνα ΙΙΙ.3.2*).



Εικόνα ΙΙΙ.3.2

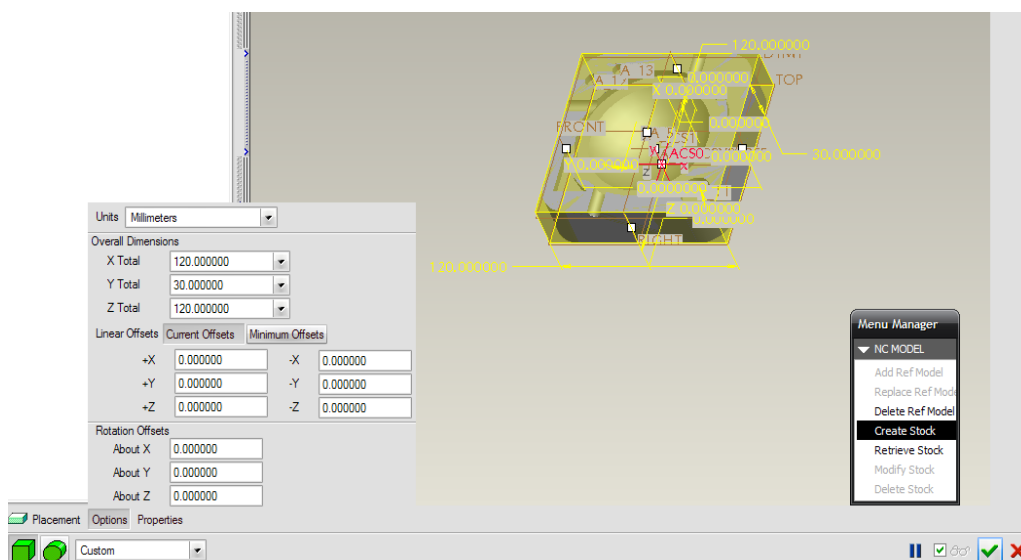
Επιλέγοντας το αντικείμενο που θέλουμε μεταφερόμαστε αυτόματα στην τρισδιάστατη συναρμολόγηση με το τελικό αντικείμενο (Εικόνα ΙΙΙ.3.3).



Εικόνα ΙΙΙ.3.3

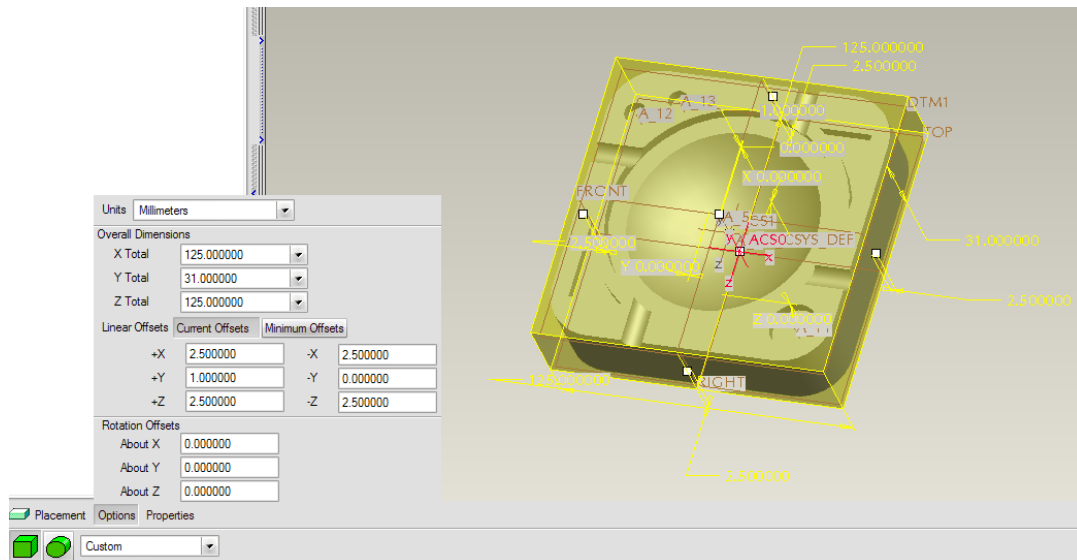
Εάν θέλουμε να προσθέσουμε και το αρχικό τεμάχιο (αντικείμενο εργασίας – Workpiece) θα πρέπει να το κάνουμε με ένα από τους δυο παρακάτω τρόπους:

- 1) Εάν το αρχικό κομμάτι έχει ήδη μοντελοποιηθεί σε κάποιο σύστημα CAD επιλέγουμε από το Menu manager την επιλογή **Retrieve Stock** και αφού επιλέξουμε το αντικείμενο που θέλουμε το συναρμολογούμε με βάση τα επίπεδα αναφοράς (datum planes).
- 2) Εάν το αρχικό κομμάτι δεν έχει μοντελοποιηθεί σε κάποιο σύστημα CAD και έχει σχετικά απλή γεωμετρία τότε το κατασκευάζουμε μέσα στο Assembly επιλέγοντας από το Menu manager την επιλογή **Create Stock**. Η επιλογή αυτή μας εμφανίζει ένα πλαίσιο στο οποίο θα καταχωρήσουμε τις σχετικές διαστάσεις του ακατέργαστου κομματιού με βάση αυτές του τελικού (Εικόνα ΙΙΙ.3.4). Το κομμάτι αυτό μπορεί να είναι είτε πρισματικό (rectangular workpiece) είτε κυλινδρικό (round workpiece). Αφού επιλέξουμε το είδος του ακατέργαστου κομματιού, εισάγουμε τις γωνίες που σχηματίζει το ακατέργαστο κομμάτι με το τελικό και την περίσσεια υλικού σε κάθε διάσταση.



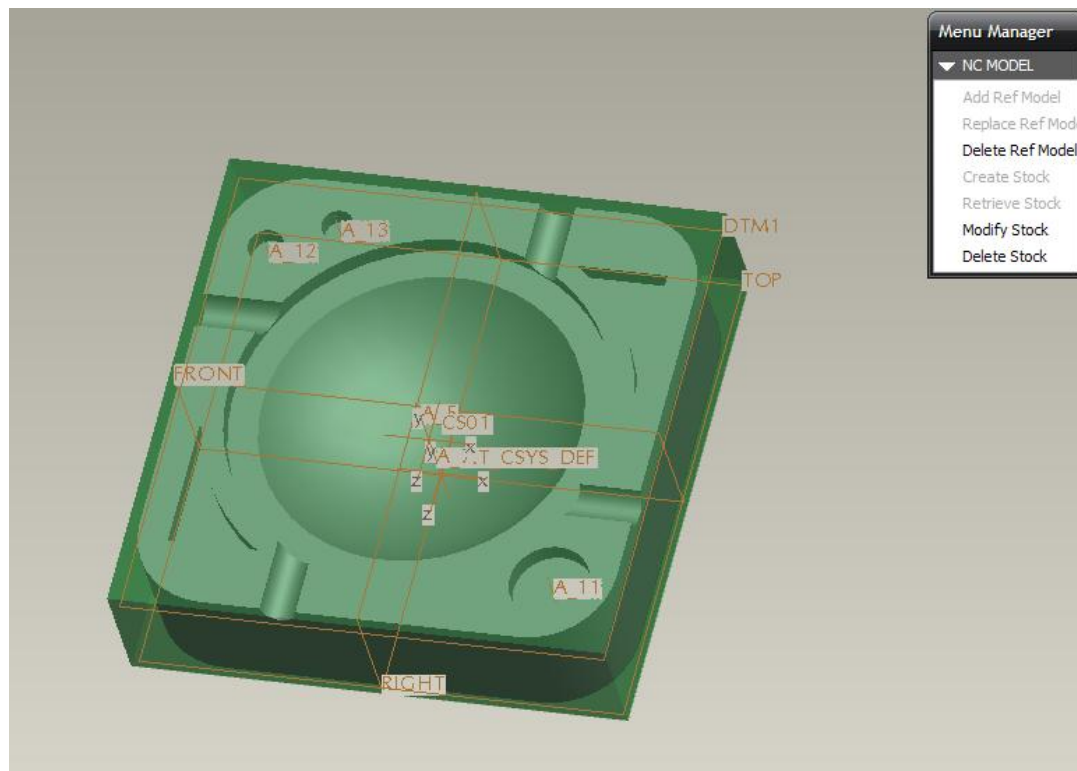
Εικόνα ΙΙΙ.3.4

Για το συγκεκριμένο μοντέλο κατεργασίας θέτουμε τις παραμέτρους όπως αυτές φαίνονται στην Εικόνα ΙΙΙ.3.5.



Εικόνα III.3.5

Τελικά, το μοντέλο κατεργασίας θα περιέχει το τελικό αντικείμενο σε γκρι χρώμα και το αρχικό τεμάχιο σε πράσινο ημιδιαφανές χρώμα (Εικόνα III.3.6).



Εικόνα III.3.6

Σε περίπτωση αλλαγής των διαστάσεων του αρχικού κομματιού επιλέγουμε από το Menu Manager το Modify Stock.



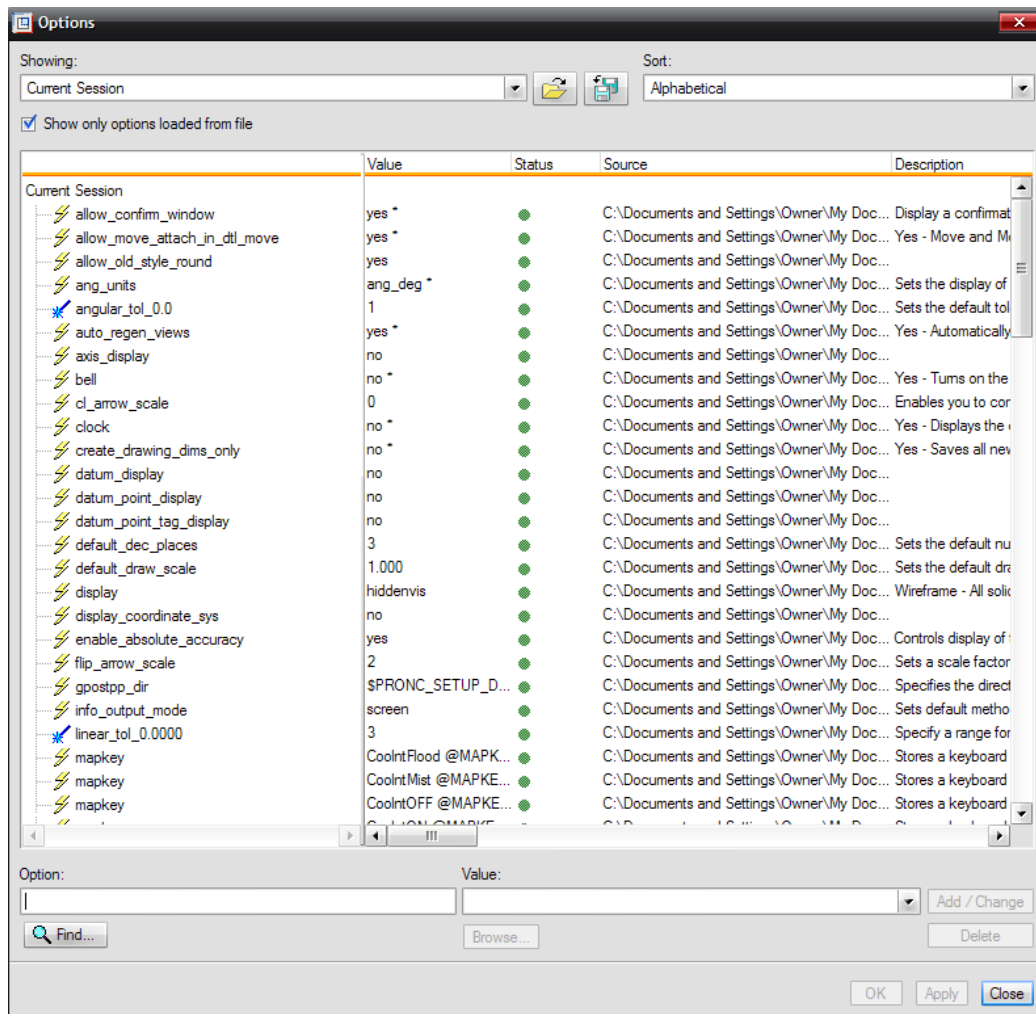
#### 4. Config.pro options (επιλογές διάταξης)

Το περιβάλλον του Pro/NC διαθέτει κάποιες πολύ σημαντικές επιλογές διάταξης (config.pro options), οι οποίες είναι αναγκαίο να ρυθμιστούν για τη δημιουργία ενός πιο εύχρηστα λειτουργικού περιβάλλοντος και για αποφυγή επαναληπτικής ρύθμισης ορισμένων παραμέτρων. Με αυτό τον τρόπο το περιβάλλον του γίνεται πιο κατανοητό και λειτουργικό, αποφεύγονται τυχόν άσκοπα λάθη κατά την δημιουργία κατεργασιών και εξοικονομείται σημαντικός χρόνος από την πλευρά του χρήστη.

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες από τις πιο σημαντικές config.pro options:

- ▶ **pro\_mf\_workcell\_dir** (διαδρομή όπου αποθηκεύονται οι χώροι εργασίας)
- ▶ **pro\_mf\_tprm\_dir** (διαδρομή όπου αποθηκεύονται οι παράμετροι των κοπτικών εργαλείων)
- ▶ **pro\_mf\_param\_dir** (διαδρομή όπου αποθηκεύονται οι παράμετροι της μηχανής και τα αρχεία κατεργασίας)
- ▶ **postpp\_dir** (διαδρομή όπου αποθηκεύεται η βιβλιοθήκη του τελικού επεξεργαστή)
- ▶ **pro\_library\_dir** (διαδρομή για τις πρότυπες βιβλιοθήκες, συμπεριλαμβανομένης της βιβλιοθήκης των κοπτικών εργαλείων)
- ▶ **start\_model\_dir** (διαδρομή για την τοποθεσία των αρχικών μοντέλων και σχεδίων)
- ▶ **search\_path** (διαδρομή για τυχόν φακέλους που περιέχουν τα μοντέλα που απαιτούνται, όπως σφινγκήρες και στερεά εργαλεία)
- ▶ **cl\_arrow\_scale** (η τιμή 0 σημαίνει ότι δεν υπάρχουν βέλη που δείχνουν την πορεία του κοπτικού εργαλείου - βοηθάει κατά την περιστροφή του μοντέλου με εμφανή την πορεία του κοπτικού)
- ▶ **rename\_drawings\_with\_object** (ο ορισμός 'both' - κοινό- δημιουργεί τα σχέδια αυτόματα κατά τη δημιουργία ενός νέου μοντέλου κατεργασίας - αυτόματη ρύθμιση φύλλων)

Για να εμφανίσουμε και να επεξεργαστούμε τις επιλογές αυτές, επιλέγουμε Tools → Options και εμφανίζεται το παράθυρο της παρακάτω εικόνας (Εικόνα III.4.1). Μετά τις επιθυμητές αλλαγές που κάνουμε, μπορούμε να τις αποθηκεύσουμε (Configure files) ορίζοντας κάποια συγκεκριμένη διαδρομή, ώστε να μπορούμε να τις ανακτήσουμε σε κάθε άλλη περίπτωση, ή μπορούμε απλά να τις χρησιμοποιήσουμε για την τρέχουσα κατεργασία.



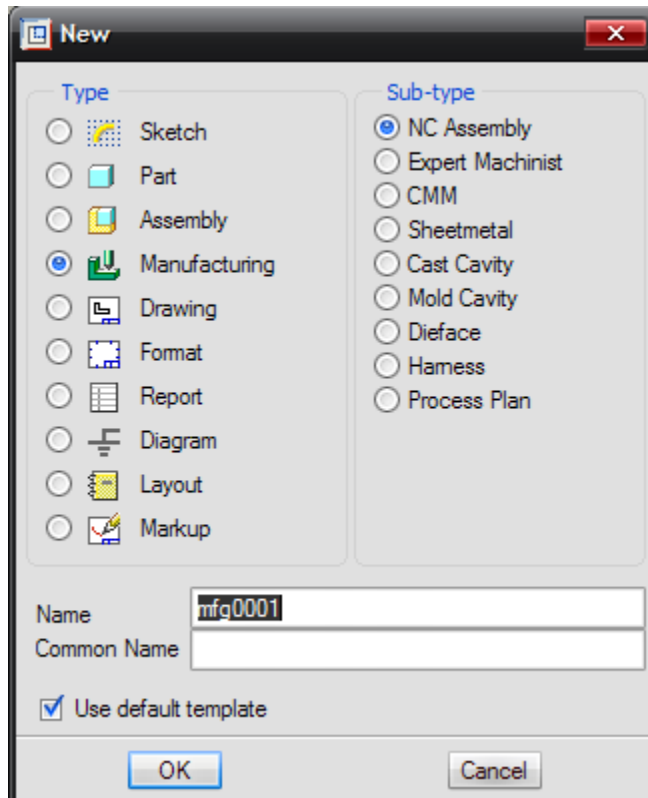
Εικόνα III.4.1

## 5. Δημιουργία περιβάλλοντος κατεργασιών

Αφού έχουμε δημιουργήσει το μοντέλο κατεργασίας και έχουμε ορίσει τις επιθυμητές επιλογές διάταξης (config.pro options) μπορούμε να ξεκινήσουμε τη δημιουργία του περιβάλλοντος (Manufacturing environment) μέσα στο οποίο θα γίνουν οι κατεργασίες, καθώς και οι λειτουργίες (Manufacturing operations) που θα λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον αυτό. Κάθε λειτουργία πρέπει να περιέχει τα δεδομένα της μηχανής, το σύστημα συντεταγμένων με βάση το οποίο γίνονται οι κατεργασίες, το επίπεδο επιστροφής τα κοπτικά εργαλεία, τις ακολουθίες αριθμητικού ελέγχου καθώς και τα μέσα με τα οποία γίνεται η συγκράτηση του κομματιού στην τράπεζα της μηχανής.

Για να ορίσουμε το περιβάλλον στο οποίο θα γίνει η σχεδίαση κάνουμε τα εξής:

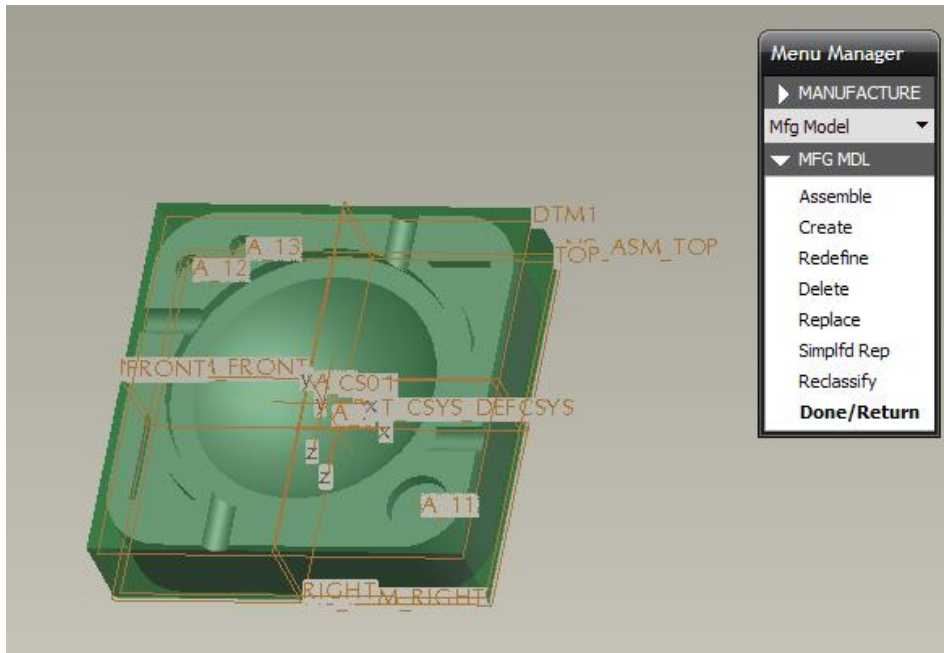
Από την καρτέλα File επιλέγουμε New για να εμφανιστεί το παράθυρο δημιουργίας ενός νέου εγγράφου (*Εικόνα III.5.1*), επιλέγουμε Manufacturing, NC Assembly και γράφουμε το όνομα του περιβάλλοντος κατεργασιών.



*Εικόνα III.5.1*

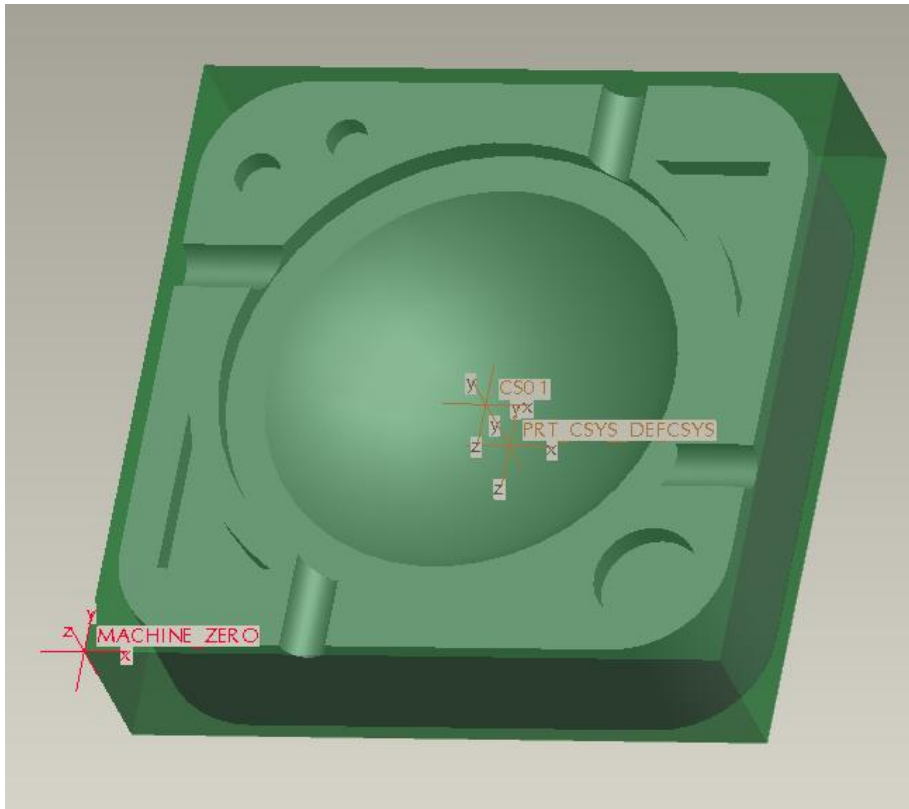
Αφού πατήσουμε OK μεταφερόμαστε στην οθόνη τρισδιάστατης σχεδίασης. Ταυτόχρονα εμφανίζεται στα δεξιά της οθόνης το Menu manager. Αυτό δημιουργεί το νέο περιβάλλον στο οποίο θα γίνουν οι κατεργασίες. Αρχικά πρέπει να ορίσουμε ότι οι μονάδες μέτρησης είναι mm επιλέγοντας λοιπόν Set up → Units και στο παράθυρο που μας εμφανίζεται επιλέγουμε τα mmNS και στη συνέχεια στο παράθυρο που θα εμφανισθεί επιλέγουμε να μεταγλωττίσουμε τις αποστάσεις (interpret).

Στη συνέχεια, πρέπει να εισάγουμε το μοντέλο κατεργασίας στο περιβάλλον κατεργασιών. Επιλέγουμε από το Menu manager τα εξής Mfg model → Assemble → Gen Assem. Με αυτές τις επιλογές μας εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο επιλέγουμε τη συναρμολόγηση του μοντέλου κατεργασίας που έχουμε κατασκευάσει προηγουμένως και τοποθετήσουμε το αντικείμενο έτσι ώστε να ταυτιστούν τα συστήματα συντεταγμένων της συναρμολόγησης και του περιβάλλοντος κατεργασιών (Εικόνα ΙΙΙ.5.2).



Εικόνα ΙΙΙ.5.2

Στη συνέχεια, ορίζουμε το σύστημα συντεταγμένων της μηχανής, δηλαδή το σύστημα συντεταγμένων με βάση το οποίο θα μετρούνται οι αποστάσεις. Αυτό το σύστημα συντεταγμένων είναι το σημείο που ορίζουμε και ως μηδέν στην μηχανή CNC (Machine zero) (Εικόνα ΙΙΙ.5.3).



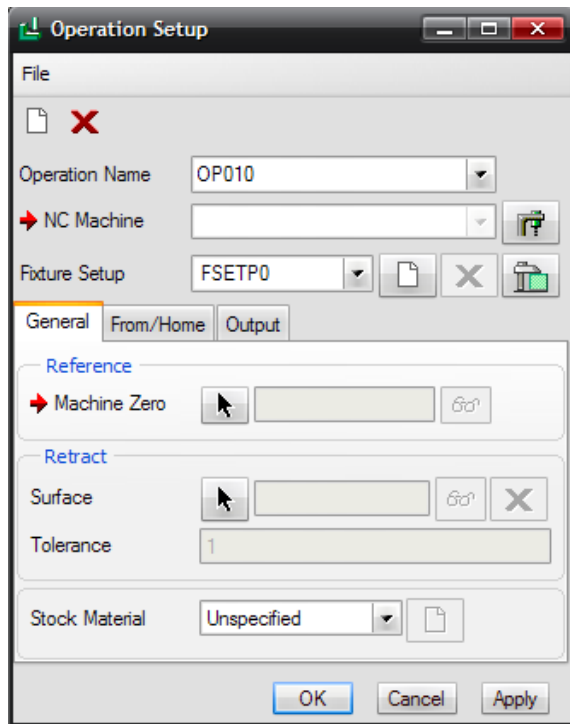
Εικόνα ΙΙΙ.5.3

### **Ορισμός λειτουργίας (Operation)**

Μια λειτουργία (Operation) είναι μια σειρά από Ακολουθίες Αριθμητικού Ελέγχου (NC Sequences) που εκτελούνται σε ένα συγκεκριμένο Χώρο Εργασίας (Workcell) και χρησιμοποιούν ένα συγκεκριμένο Σύστημα Συντεταγμένων (Coordinate System).

Σε μια λειτουργία πρέπει να οριστούν ο Χώρος Εργασίας (Workcell), δηλαδή ο τύπος της μηχανής αριθμητικού ελέγχου (NC Machine), το μέσο συγκράτησης (σφιγκτήρας), το σύστημα συντεταγμένων της μηχανής (Machine Zero) και η επιφάνεια επιστροφής του κοπτικού εργαλείου.


Προχωράμε στον ορισμό μιας νέας λειτουργίας, επιλέγοντας Mfg Setup → Operation (στην περίπτωση που η λειτουργία είναι η πρώτη που δημιουργείται, το παράθυρο της νέας λειτουργίας εμφανίζεται αυτόματα με την επιλογή του Mfg Setup) και το παράθυρο ορισμού νέας λειτουργίας εμφανίζεται (Εικόνα ΙΙΙ.5.4).

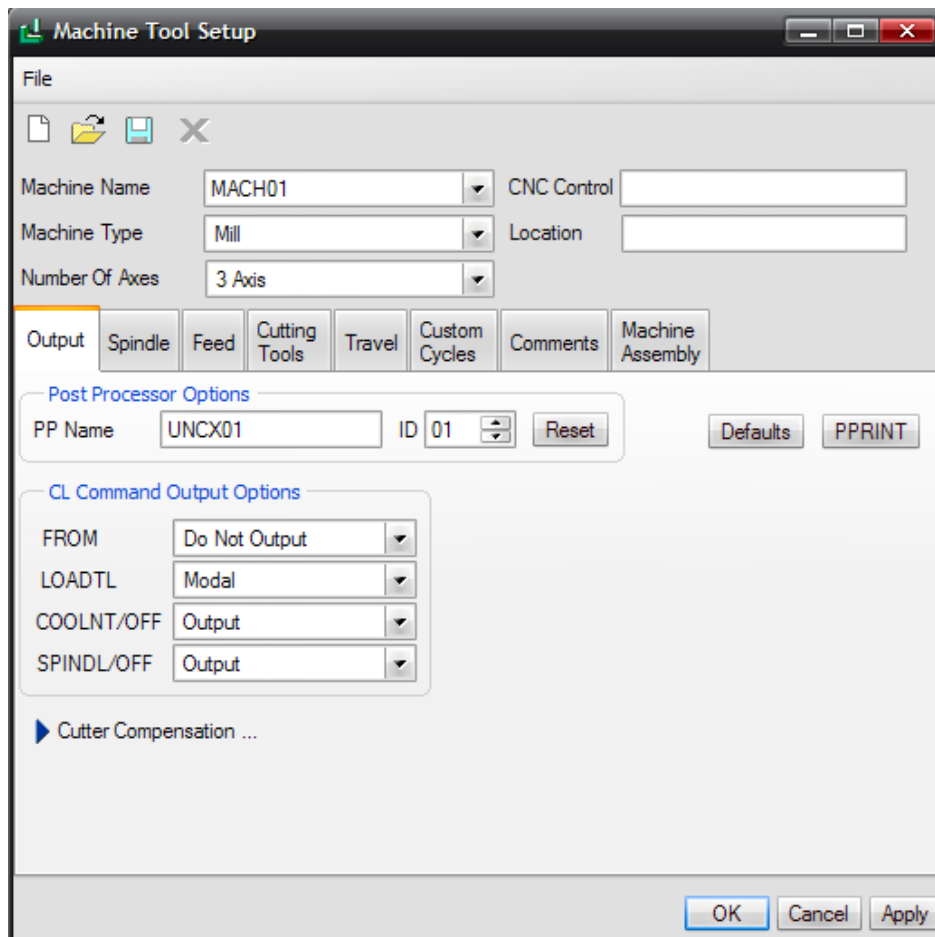


Εικόνα ΙΙΙ.5.4

#### ι. Δημιουργία μηχανής αριθμητικού ελέγχου

Το πρώτο βήμα στον ορισμό της νέας λειτουργίας είναι η επιλογή ή δημιουργία μιας νέας μηχανής αριθμητικού ελέγχου (NC Machine).

Με το εικονίδιο  εμφανίζεται το παράθυρο ορισμού μιας μηχανής αριθμητικού ελέγχου (Εικόνα ΙΙΙ.5.5), στο οποίο εισάγουμε το όνομα της μηχανής, το είδος και τους άξονες. Βάσει του είδους της μηχανής, επιλέγονται και οι άξονες. Συγκεκριμένα για φρέζα (Mill) : 3-5 άξονες, για τόρνο (Lathe) : 1 ή 2 εργαλαιοφορεία, για φρέζα/τόρνο (Mill/ Lathe) : 2-5 άξονες και για ηλεκτροδιάβρωση (Wedm) : 2 ή 4 άξονες. Επιπλέον, για τις επιλογές τόρνο και φρέζα/τόρνο εισάγεται και ο προσανατολισμός της μηχανής (οριζόντια/κάθετη). Ακόμα, μπορούν να εισαχθούν προαιρετικά το είδος του ελεγκτή (CNC Control) της μηχανής καθώς και η τοποθεσία του (Location).



Εικόνα ΙΙΙ.5.5

Στο παράθυρο αυτό εμφανίζονται οι παρακάτω καρτέλες:

-Output: όπου εισάγονται πληροφορίες για τα αρχεία θέσης κοπτικού (CL files – Cutter Location files), τον τελικό επεξεργαστή (Post-Processor) και για τα σχόλια που θέλουμε να εισαχθούν στο αρχείο θέσης του κοπτικού από το σύστημα (PPrint).

-Spindle: όπου εισάγονται η μέγιστη δυνατή ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου (σε RPM), που περιορίζει τις τυχόν λάθος ταχύτητες περιστροφής σε κάποια ακολουθία αριθμητικού ελέγχου, και η ιπποδύναμη της μηχανής (Horsepower).

-Feed: όπου εισάγονται οι μονάδες μέτρησης της πρόωσης και το όριο της ταχύτητας κίνησης με ταχεία πρόωση. Οι μονάδες μέτρησης της πρόωσης είναι είτε IPM (inches per minute) είτε MMPM (millimetres per minute) κτλ.

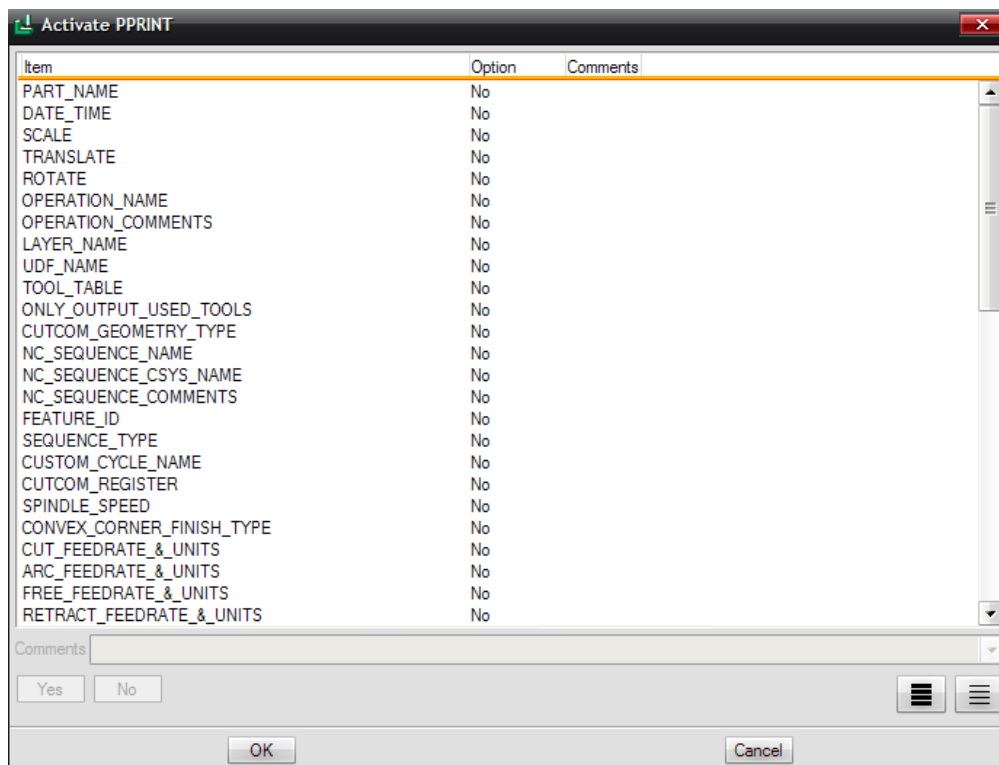
-Cutting tools: όπου εισάγονται ο χρόνος αλλαγής του κάθε κοπτικού και τα εργαλεία για κάθε μια από τις κεφαλές (δύο κεφαλές έχουν οι τórνοι 2 εργαλειοφορείων και οι φρέζες/τόρνοι 4 και 5 αξόνων, ενώ οι υπόλοιποι τύποι μηχανών έχουν 1 κεφαλή). Τα κοπτικά εργαλεία μπορούν να τροποποιηθούν και σε μεταγενέστερο στάδιο.

-Travel: όπου εισάγονται τα όρια του χώρου εργασίας σε κάθε άξονα με βάση το σύστημα συντεταγμένων της μηχανής. Αν κατά την διάρκεια μιας ακολουθίας το όριο αυτό παραβιαστεί τότε εμφανίζεται μήνυμα στην οθόνη το οποίο προειδοποιεί για την παραβίαση.

-Custom circles: όπου μπορούν να εισαχθούν κύκλοι κατεργασίας για την δημιουργία διατρήσεων (Holemaking).

-Comments: όπου εισάγονται τυχόν σχόλια που σχετίζονται με την μηχανή.

Στην δικιά μας περίπτωση, εισάγουμε το όνομα της μηχανής, το είδος της (φρέζα τριών αξόνων). Επιλέγουμε ποιες πληροφορίες θέλουμε να εξάγονται στο αρχείο CL πατώντας PPrint → Create και επιλέγοντας πρώτα ποιες πληροφορίες επιθυμούμε (Εικόνα ΙΙΙ.5.6) και στην συνέχεια OK και DONE (οι ρυθμίσεις αυτές αποθηκεύονται στο συγκεκριμένο χώρο εργασίας). Ορίζουμε ως προεπιλεγμένο τελικό επεξεργαστή (UNCX01 XX) την μέγιστη ταχύτητα περιστροφής (σε rpm), τις μονάδες πρόωσης σε MPM, και την ταχεία πρόωση σε mmrm. Τέλος ορίζουμε τον χρόνο αλλαγής του κοπτικού σε sec όπως επιθυμούμε. Τα κοπτικά εργαλεία θα τα ορίσουμε στην συνέχεια. Αφού εισάγουμε τα δεδομένα πιέζουμε OK και επιστρέφουμε στο παράθυρο δημιουργίας νέας λειτουργίας.



Εικόνα ΙΙΙ.5.6

### Χρήσιμη συμβουλή

Μια πολύ σημαντική συμβουλή είναι η αποθήκευση και η επαναχρησιμοποίηση των Χώρων Εργασίας (workcells).

Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε εύκολα να ανακτήσουμε τον ήδη δημιουργημένο χώρο εργασίας που πρόκειται για μια φρέζα 3 αξόνων και ονομάζεται "MACH01", κάθε φορά που ξεκινάμε ένα νέο πρόγραμμα.




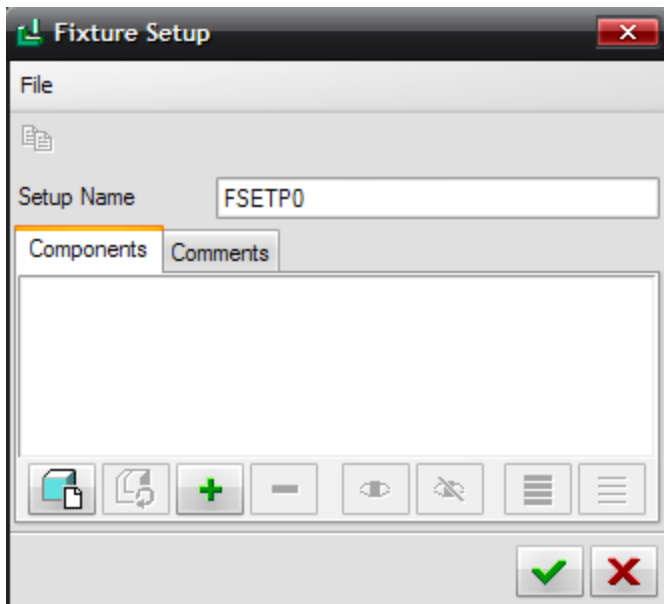
Για να αποθηκεύσουμε το χώρο εργασίας που έχουμε δημιουργήσει, επιλέγουμε File → Save στο παράθυρο ορισμού της μηχανής αριθμητικού ελέγχου (Εικόνα ΙΙΙ.5.5) και έτσι αποθηκεύεται ως ένα αρχείο \*.gph στο pro\_mf\_workcell\_dir φάκελο (όπως έχουμε ορίσει, στις επιλογές διάταξης - config.pro options)

*Συμβουλή: Όταν δημιουργούμε ένα χώρο εργασίας, και επιλέγουμε “Defaults”, μας επιτρέπεται να επιλέξουμε ένα προεπιλεγμένο αρχείο κατεργασίας για να χρησιμοποιούμε με αυτό τον χώρο εργασίας. Το τρέχων συναφές αρχείο κατεργασίας θα αποθηκευτεί στο χώρο εργασίας.*

*Συμβουλή: Είναι επίσης μια καλή ιδέα να δημιουργούμε ή να μπορούμε να ανακτήσουμε κάθε πρότυπο εργαλείο κοπής που έχει φορτωθεί στη μηχανή (περισσότερα για εργαλεία κοπής στο υποκεφάλαιο ‘Δημιουργία κοπτικών εργαλείων’). Τα κοπτικά εργαλεία που έχουν οριστεί με μια συγκεκριμένη μηχανή, παραμένουν σε αυτή όταν αποθηκεύονται.*

## ii. Δημιουργία μέσου συγκράτησης

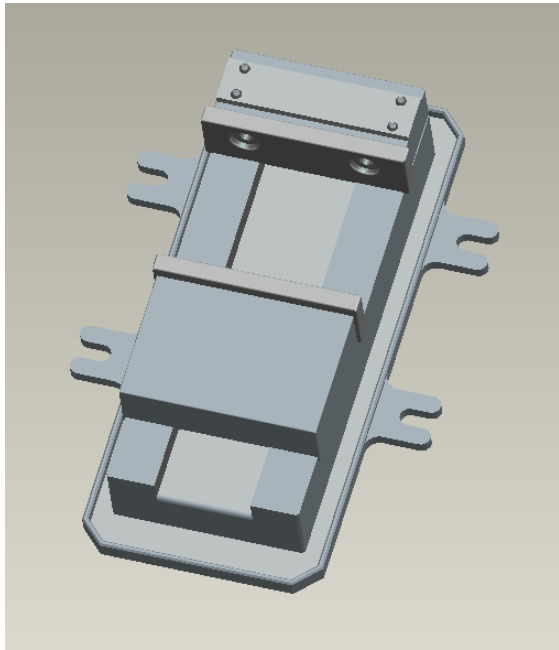
Στη συνέχεια, πρέπει να τοποθετήσουμε το μέσο συγκράτησης του ακατέργαστου κομματιού. Επιλέγουμε το εικονίδιο  και εμφανίζεται αυτομάτως το παράθυρο ορισμού του σφικτήρα (Εικόνα ΙΙΙ.5.7)



Εικόνα ΙΙΙ.5.7

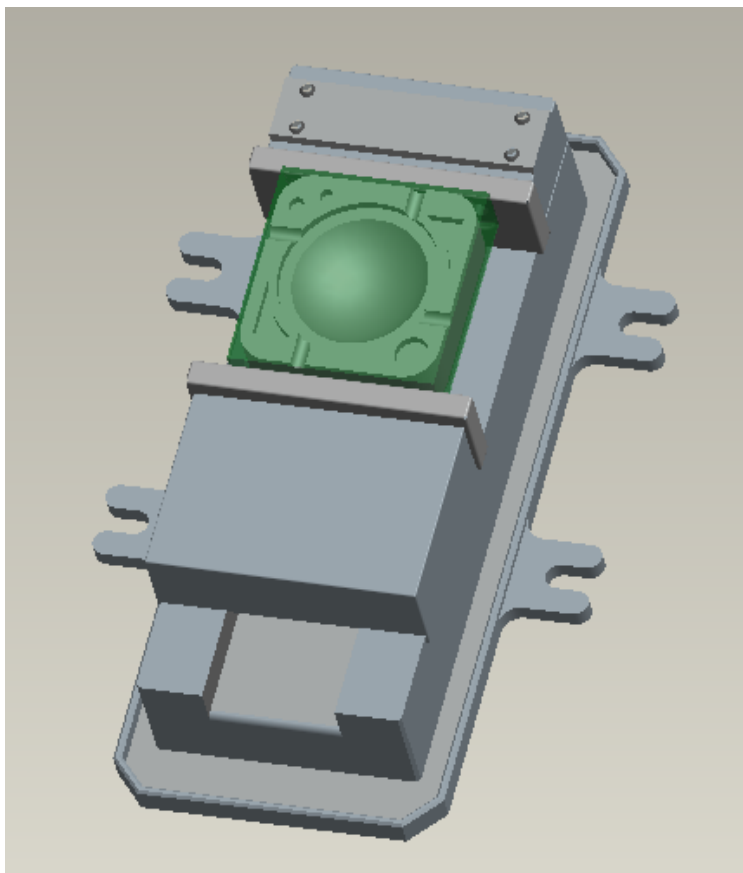
Στο παράθυρο αυτό επιλέγουμε το ‘+’ για να εισάγουμε ως σφικτήρα ένα ήδη μοντελοποιημένο αντικείμενο (εάν θέλουμε μπορούμε να κατασκευάσουμε και σε αυτό το περιβάλλον ένα σφικτήρα). Το μοντέλο που θα εισάγουμε πρέπει να είναι αποθηκευμένο στο ίδιο φάκελο με τα αντικείμενα πριν και μετά την κατεργασία.

Ο σφιγκτήρας (*Εικόνα ΙΙΙ.5.8*) που έχουμε ήδη μοντελοποιήσει είναι ο ακόλουθος:



*Εικόνα ΙΙΙ.5.8*

Αφού επιλέξουμε, λοιπόν, τον σφιγκτήρα μας, μεταφερόμαστε στην τρισδιάστατη απεικόνιση και συναρμολογούμε το ακατέργαστο κομμάτι με τον σφικτήρα, κατά τον επιθυμητό τρόπο. Η συνολική συναρμολόγηση φαίνεται στην *Εικόνα ΙΙΙ.5.9*.



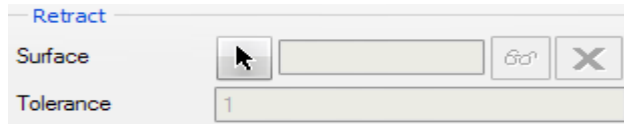
*Εικόνα ΙΙΙ.5.9*

Στη συνέχεια πρέπει να ορίσουμε το σύστημα συντεταγμένων της μηχανής (Machine Zero)



επιλέγοντας το σύστημα που έχουμε δημιουργήσει (Εικόνα III.5.3) ή το δημιουργούμε αυτή την στιγμή.

Τέλος, ορίζουμε την επιφάνεια επιστροφής του κοπτικού,




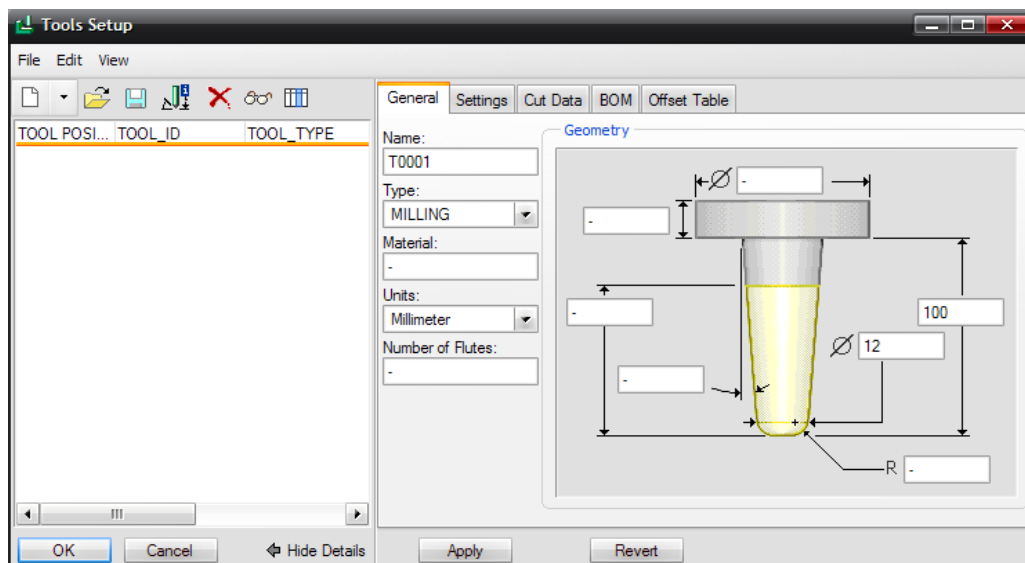
δημιουργώντας ένα νέο datum plane, ή επιλέγοντας ένα ήδη υπάρχον, ή δημιουργώντας μια επιφάνεια, ή τέλος ορίζοντας την απόσταση ως προς τον Z άξονα με φορά προς τα θετικά Z. Δημιουργούμε, λοιπόν, ένα plane ορίζοντας απόσταση ίση με 5 mm θετικά προς τον Z άξονα.

Επιλέγοντας OK ολοκληρώνουμε τη δημιουργία της νέας λειτουργίας και μεταφερόμαστε στην τρισδιάστατη σχεδίαση.

### iii. Δημιουργία κοπτικών εργαλείων

Η γεωμετρία των κοπτικών παίζει πρωτεύοντα ρολό στον ορισμό των ακολουθιών αριθμητικού ελέγχου. Τα κοπτικά εργαλεία πρέπει να έχουν οριστεί κατάλληλα για κάθε κατεργασία.

Για να εμφανίσουμε το παράθυρο δημιουργίας κοπτικών εργαλείων (Εικόνα III.5.10) επιλέγουμε από το Menu Manager → Mfg Setup → Tooling και επιλέγουμε το χώρο εργασίας (NC Workcell) που έχουμε δημιουργήσει, όπως περιγράφεται πιο πάνω, ή απλά επιλέγοντας το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.



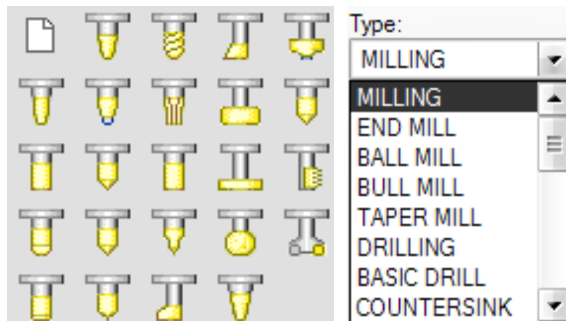
Εικόνα III.5.10

Για να δημιουργήσουμε ένα νέο κοπτικό εργαλείο επιλέγουμε File → New. Με αυτόν τον τρόπο εμφανίζεται ένα νέο κοπτικό εργαλείο. Εισάγουμε στο πεδίο Name ένα όνομα για το κοπτικό με το οποίο θα εμφανίζεται στις κατεργασίες, το είδος της κατεργασίας που εκτελεί, το υλικό κατασκευές του (προαιρετικά) και τις μονάδες στις οποίες είναι οι διαστάσεις του κοπτικού. Αφού το κάνουμε αυτό εισάγουμε την γεωμετρία του κοπτικού, με ένα από τους τρεις τρόπους που αναφέρονται παρακάτω και στην συνέχεια εισάγουμε τις ρυθμίσεις του κοπτικού, τις αντοχές του όσον αφορά τις προώσεις και τις ταχύτητες περιστροφής.

Ο ορισμός της γεωμετρίας των κοπτικών μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

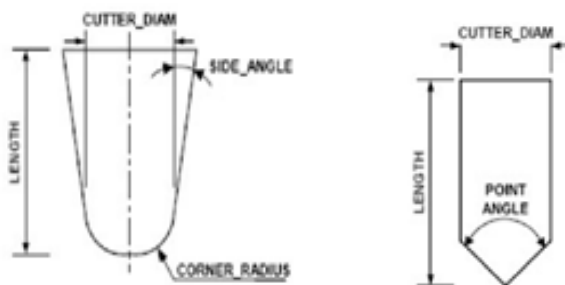
- Με τροποποίηση των έτοιμων σχεδίων των κοπτικών εργαλείων

Το Pro/Manufacturing παρέχει 23 έτοιμα πρότυπα κοπτικών για κάθε τύπο κατεργασίας (Taper Mill, Tapping, Boring Bar, Corner Rounding, Milling, Drilling κτλ.).



Επιλέγοντας ένα από αυτά και διαμορφώνοντας κατάλληλα τις διαστάσεις του, μπορούμε να πάρουμε το εργαλείο που επιθυμούμε.

Σε κάθε τύπο εργαλείου υπάρχει ένα σύνολο παραμέτρων οι οποίες πρέπει να ρυθμιστούν. Οι κυριότερες από αυτές είναι η διάμετρος του κοπτικού εργαλείου (Cutter\_Diam), το μήκος του (Length), η ακτίνα καμπυλότητας του (Corner Radius), η γωνιά του κοπτικού (Side Angle), η γωνιά της ακμής του κοπτικού (Point Angle) και ο αριθμός των δοντιών του κοπτικού (Number of flutes) (Εικόνα ΙΙΙ.5.11).

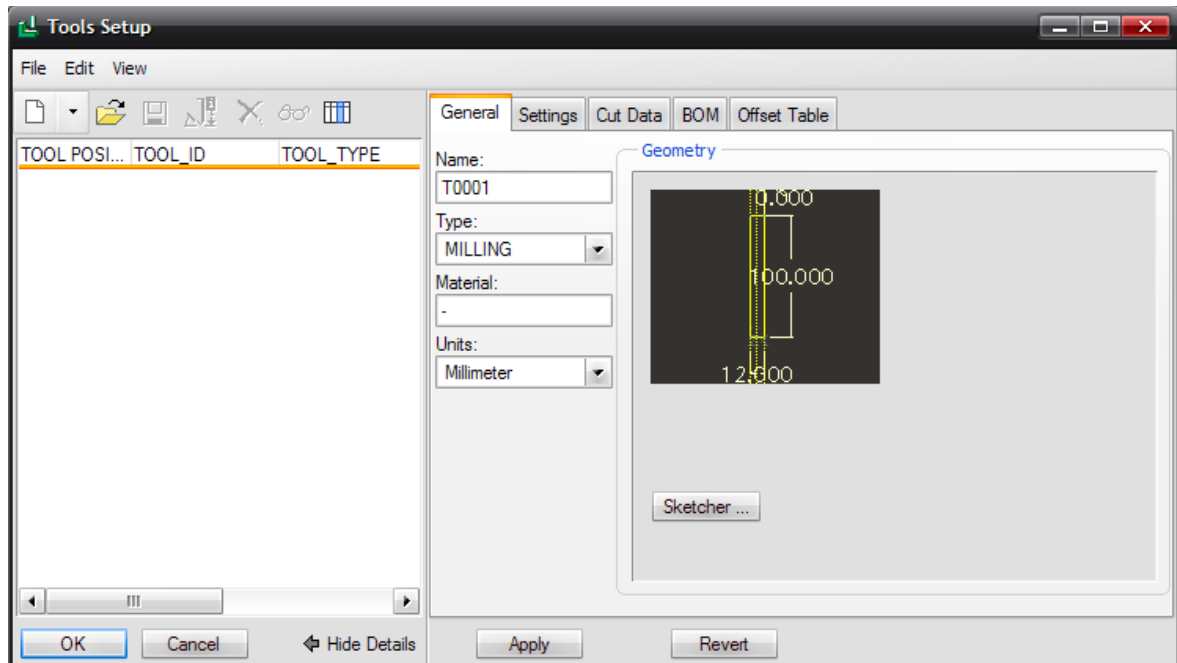


Εικόνα ΙΙΙ.5.11

Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 παρουσιάζονται διάφοροι τύποι εργαλείων, καθώς και οι βασικές τους παράμετροι.

- Με σχεδίαση του κοπτικού σε δυο διαστάσεις (προφίλ)

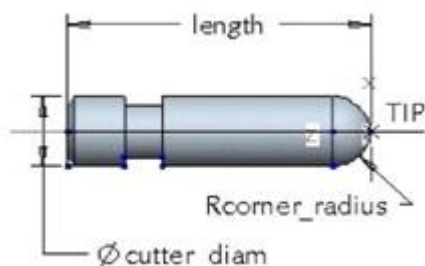
Για να σχεδιάσουμε το κοπτικό επιλέγουμε στο παράθυρο του Tools Setup → Edit → Sketch και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο, όπου με το Sketcher μεταφερόμαστε στο περιβάλλον δισδιάστατης σχεδίασης.



Στην δισδιάστατη σχεδίαση σχεδιάζουμε το δεξί μισό της τομής του κοπτικού. Το τμήμα αυτό πρέπει να είναι δεξιά (και μόνο) του άξονα συμμετρίας, ο οποίος είναι κατακόρυφος και φυσικά να είναι ένα κλειστό σχήμα.

- Με αναζήτηση ενός ήδη σχεδιασμένου αντικειμένου ή συναρμολόγηση σε ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης (\*.prt ή \*.asm), επιλέγοντας File → Open Tool Library.

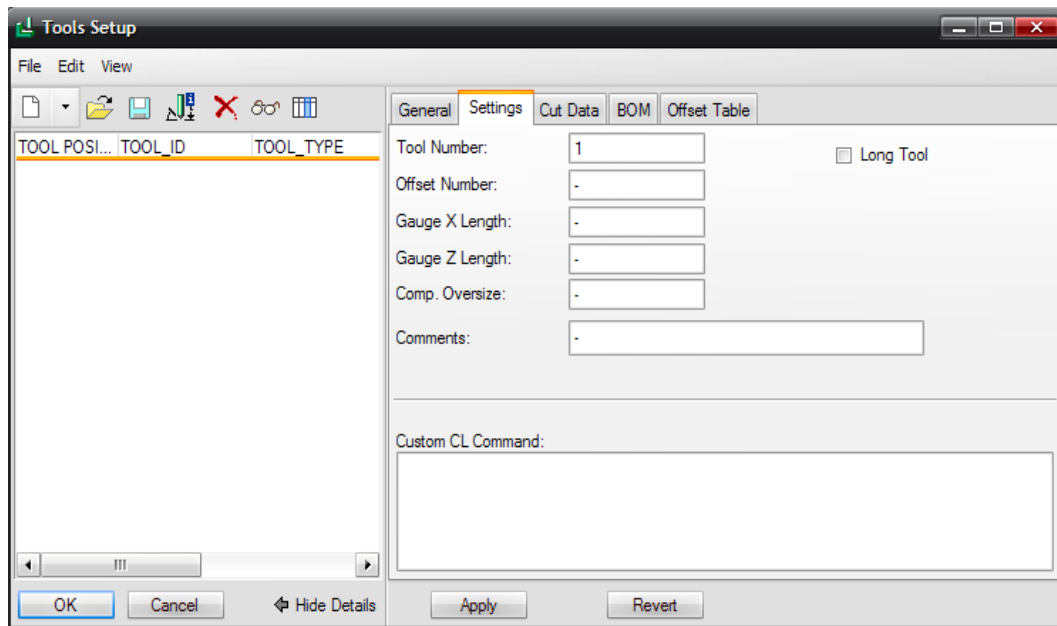
Το σχεδιασμένο εργαλείο για να μπορούμε να το εισάγουμε θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε οι διαστάσεις και οι παράμετροι που απαιτούνται για τον πλήρη ορισμό του κοπτικού να έχουν εισαχθεί με το όνομα τους στην σχεδίαση του και το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού να έχει όνομα TIP και ο άξονας z να ταυτίζεται με τον άξονα περιστροφής με τα θετικά προς το εσωτερικό του εργαλείου. Ένα τέτοιο κοπτικό παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα (Εικόνα ΙΙΙ.5.12):



Εικόνα ΙΙΙ.5.12

Ρυθμίσεις του κοπτικού

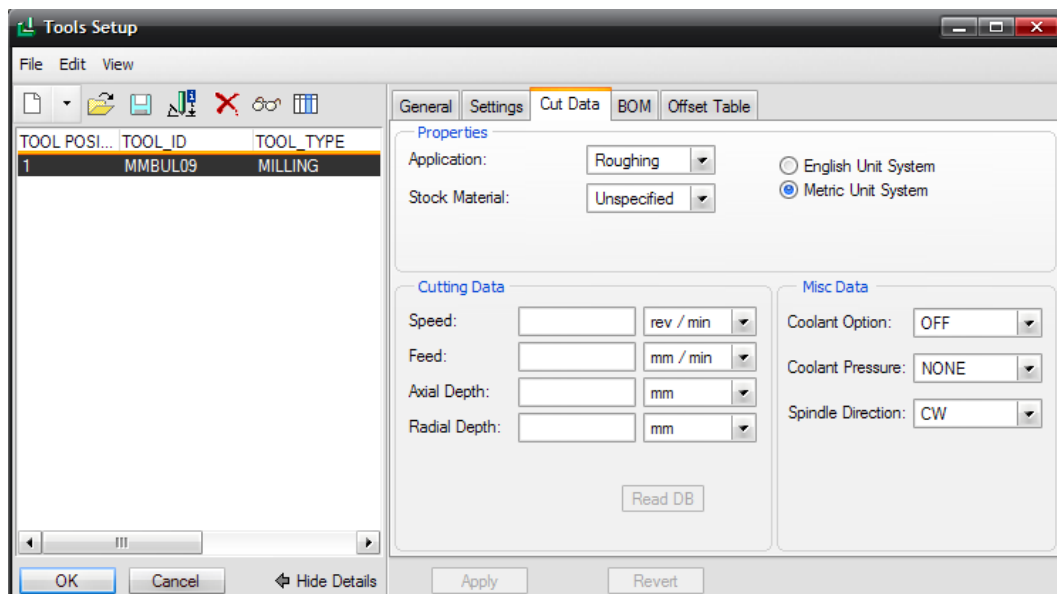
Στην καρτέλα Settings (Εικόνα III.5.13) εισάγονται ο αριθμός του κοπτικού (Tool Number), που είναι ο αριθμός που θα εξαχθεί στις αλλαγές των κοπτικών, το μέτρο του μήκους του κοπτικού στους άξονες X και Z (Gauge x Length) καθώς και τυχόν σχόλια για το εργαλείο (Comments). Τέλος σε αυτή την καρτέλα καταχωρείται το αν το κοπτικό είναι μακρύ (long tool) έτσι ώστε εάν χρησιμοποιούνται περιστροφικοί άξονες, το εργαλείο να απομακρυνθεί σε μια θέση ασφαλείας.



Εικόνα III.5.13

Όρια περιστροφής και πρόωσης

Στην καρτέλα Cut Data (Εικόνα III.5.14) εισάγονται τα όρια μέσα στα οποία πρέπει να κινείται το κοπτικό. Εάν τα υπερβεί τότε εμφανίζεται μήνυμα λάθους (αυτές η επιλογές εφαρμόζονται μόνο εάν έχουν εισαχθεί τα υλικά τόσο του προς κατεργασία κομματιού όσο και του κοπτικού εργαλείου).




Εικόνα III.5.14

Βιβλιοθήκη κοπτικών εργαλείων

Ένας χρήσιμος τρόπος για να μην δημιουργούμε κάθε φορά κοπτικά εργαλεία είναι να δημιουργήσουμε μια βιβλιοθήκη κοπτικών εργαλείων και να τα αναζητούμε από εκεί.

Για να προσθέσουμε ένα εργαλείο στη βιβλιοθήκη εκτελούμε τα παρακάτω:

- Επιλέγουμε από το Menu Manager →Mfg Setup→ Tooling→ επιλέγουμε ένα χώρο εργασίας που έχουμε πρώτα δημιουργήσει (workcell).
- Δίνουμε όνομα (Name) σε κάθε εργαλείο και ορίζουμε τις παραμέτρους, τα σχόλια, κ.λπ., όπως απαιτείται, και την γεωμετρία του με έναν από τους 3 παραπάνω τρόπους που αναπτύξαμε.
- Αποθηκεύουμε το εργαλείο (αποθηκεύονται στο pro\_mf\_tprm\_dir). Τα αποθηκευμένα εργαλεία μπορούν να ανακληθούν ανά πάσα στιγμή σε άλλες μηχανές.
- Για να ανακτήσουμε ένα αποθηκευμένο εργαλείο (Tool parameter files : \*.xml, \*.tpm, \*.tprm) επιλέγουμε File → Open Parameter File ή απλά Open .

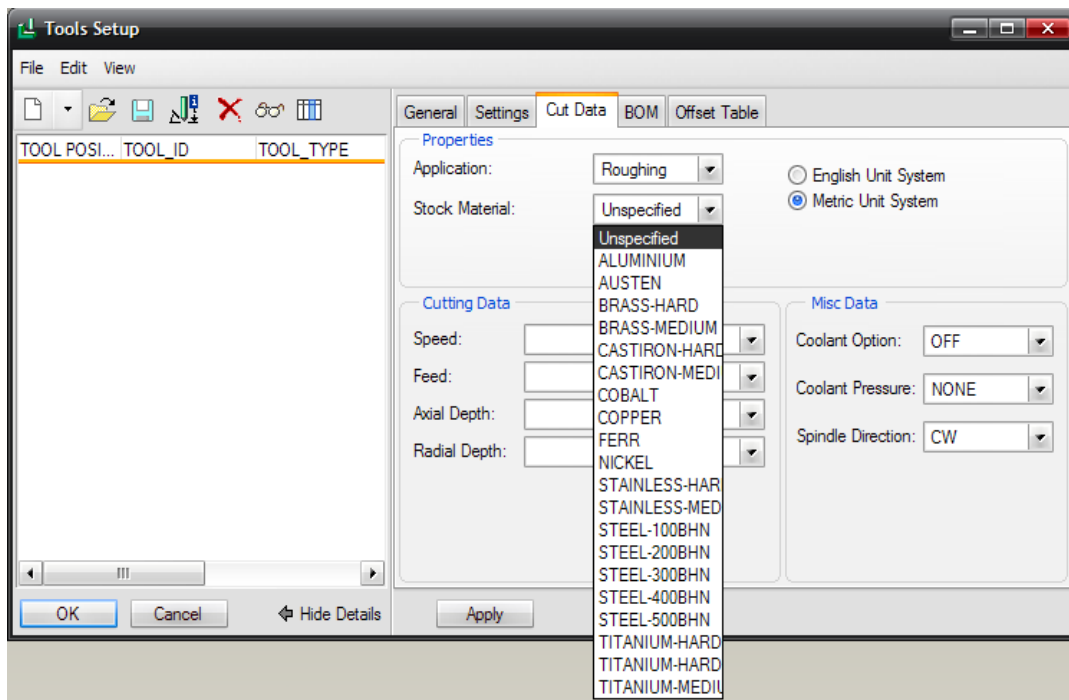


#### iv. Συνδυασμός υλικών κατεργασίας με κοπτικά εργαλεία

Μια σημαντική και χρήσιμη τεχνική είναι η συσχέτιση των παραμέτρων με τα κοπτικά εργαλεία και τα υλικά των αντικειμένων κατεργασίας. Μπορούμε εύκολα να ορίσουμε και να επαναχρησιμοποιήσουμε τα υλικά των δεδομένων κοπής με τα κοπτικά εργαλεία. Έτσι θα έχουμε το κατάλληλο εργαλείο για το κάθε υλικό του αντικειμένου κατεργασίας.

Μπορούμε να ορίσουμε τα υλικά μας, δημιουργώντας μια δομή φακέλου, ως εξής:

Στο αρχείο φακέλου pro\_mf\_tprm\_dir, δημιουργούμε ένα φάκελο με το όνομα 'materials' (υλικά) και σε αυτόν τον φάκελο δημιουργούμε ένα φάκελο για το κάθε τύπο υλικού. Από το Tool Manager του Pro/NC, επιλέγουμε ένα κοπτικό (είτε δημιουργία νέου είτε αναζήτηση) και στην καρτέλα Cut Data (καρτέλα για Speeds & Feeds) επιλέγουμε το υλικό (Εικόνα III.5.15) και στη συνέχεια προσθέτουμε τα δεδομένα και τις συνθήκες κοπής στο εργαλείο αυτό (roughing ή Finishing, όρια περιστροφής και πρόωσης). Αφού κάνουμε όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις αποθηκεύουμε το εργαλείο και επαναλαμβάνουμε όλη αυτήν την διαδικασία για κάθε επιθυμητό υλικό.



Εικόνα III.5.15

Σε μια ακολουθία (NC sequence)

Για να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις παραμέτρους σε μια ακολουθία (NC sequence), επιλέγουμε μία από τις ακόλουθες μεθόδους: *(είναι καλύτερο να προσδιορίσουμε πρώτα το υλικό σε μια λειτουργία)*

- Στο Parameter Tree σε μια ακολουθία αριθμητικού ελέγχου (NC sequence), επιλέγουμε Edit → Copy From Tool → All / Spindle / Feed / Depth , Roughing/Finishing – (η ταχύτητα, η πρόωση και το κοπτικό βάθος, για το συγκεκριμένο υλικό, θα διαβαστούν από το αρχείο κοπτικού)
- Ή χρησιμοποιούμε σχέσεις στις παραμέτρους για να ανακτήσουμε τα δεδομένα κοπής. Τα ονόματα των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στις σχέσεις φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Η χρήση των σχέσεων ισχύει για μεμονωμένα αρχεία παραμέτρων, καθώς επίσης και για αρχεία κατεργασίας, γεγονός που το καθιστά αυτό μια πολύ ισχυρή τεχνική. Για παράδειγμα, εάν στο ενεργό αρχείο η επιλογή STEP\_DEPTH έχει οριστεί σε TOOL\_ROUGH\_AXIAL\_DEPTH, τότε το STEP\_DEPTH θα ορίζεται πάντα με αυτή την ένδειξη (με την προϋπόθεση ότι το εργαλείο περιέχει πληροφορίες για το υλικό).

Cutting Data	Roughing Roughing	Finishing Finishing
<b>Speed</b> (rpm)	TOOL_ROUGH_SPINDLE_RPM	TOOL_FINISH_SPINDLE_RPM
<b>Speed</b> (length/min.)	TOOL_ROUGH_SURFACE_SPEED	TOOL_FINISH_SURFACE_SPEED
<b>Feed</b> (/min.)	TOOL_ROUGH_FEED_RATE	TOOL_FINISH_FEED_RATE
<b>Feed</b> (/tooth, eg ipr)	TOOL_ROUGH_FEED_PER_UNIT	TOOL_FINISH_FEED_PER_UNIT
Axial Depth	TOOL_ROUGH_AXIAL_DEPTH	TOOL_FINISH_AXIAL_DEPTH
Radial Depth	TOOL_ROUGH_RADIAL_DEPTH	TOOL_FINISH_RADIAL_DEPTH

## 6. Πρότυπο μοντέλο κατεργασίας

Ο πιο γρήγορος τρόπος για να ξεκινήσουμε μια νέα κατεργασία/προγραμματισμό είναι να χρησιμοποιήσουμε ένα κατασκευαστικό πρότυπο (η δημιουργία τέτοιων προτύπων είναι διαθέσιμη στο Wildfire 2.0 και άνω). Μπορούμε να δημιουργήσουμε και να χρησιμοποιήσουμε όσα πρότυπα επιθυμούμε, τα οποία είναι επίσης γνωστά και ως start models. Μπορούμε, για παράδειγμα, να έχουμε ένα διαφορετικό πρότυπο για κάθε μηχανή, ή ακόμη και για κάθε υλικό ή αντικείμενο.

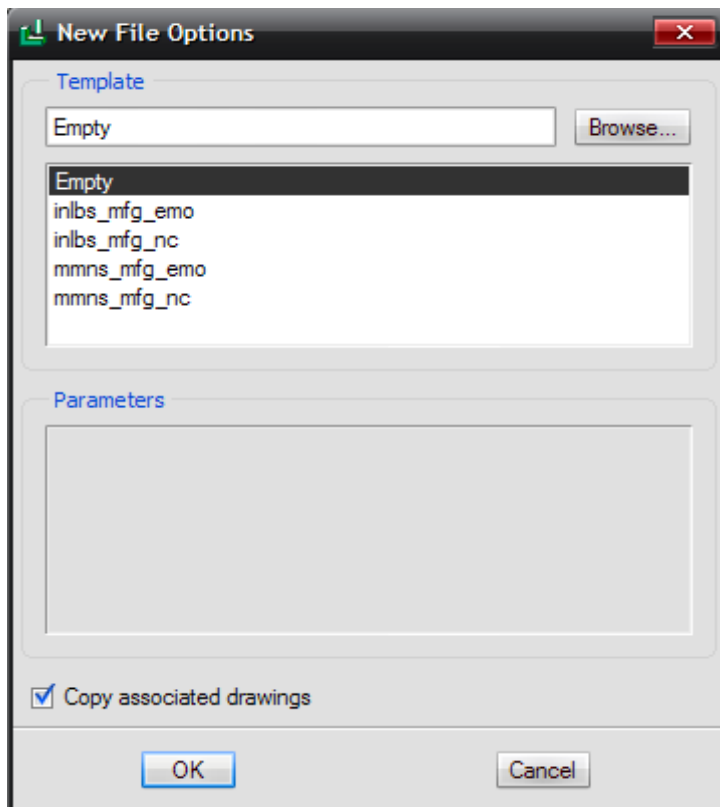
Για να δημιουργήσουμε ένα πρότυπο (template) πρέπει να εκτελέσουμε ορισμένα βήματα (στην πραγματικότητα μόνο το πρώτο και το τελευταίο βήμα απαιτούνται, ωστόσο όσο περισσότερα στοιχεία συμπεριλάβουμε στο πρότυπο, τόσο πιο ισχυρό και ολοκληρωμένο θα γίνει το μοντέλο μας). Τα απαιτούμενα βήματα είναι:

- 1) Αρχικά, δημιουργούμε ένα νέο μοντέλο κατεργασίας (manufacturing model) και του δίνουμε ένα επιθυμητό όνομα. (Συμβουλή: είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσουμε το προεπιλεγμένο μοντέλο κατεργασίας (default mfg start model) για να αποφύγουμε το βήμα 3 που παρουσιάζεται παρακάτω)
- 2) Στη συνέχεια ορίζουμε τις μονάδες (Setup → Units). Επιλέγουμε τα mmNS και στη συνέχεια στο παράθυρο που θα εμφανισθεί επιλέγουμε να μεταγλωττίσουμε τις αποστάσεις (interpret).
- 3) Δημιουργούμε έναν προεπιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων και επιπέδων (datum planes), εάν είναι απαραίτητο.
- 4) Δημιουργούμε layers για να κρύψουμε αντικείμενα όπως datum planes και αποθηκεύουμε την τρέχουσα κατάσταση.
- 5) Ορίζουμε όψεις όπως επιθυμούμε (για παράδειγμα, μια όψη XZ για ένα τόρνο ή top, front, και πλάγιες όψεις για μια φρέζα ή γενικά μια όψη για κάθε λειτουργία)
- 6) Στη συνέχεια δημιουργούμε μία ή περισσότερες λειτουργίες, καθορίζοντας το υλικό όπως επιθυμούμε σε κάθε λειτουργία.
- 7) Ανακτούμε ή δημιουργούμε ένα χώρο εργασίας (workcell) για κάθε λειτουργία. Επίσης, ανακτούμε ή δημιουργούμε κοπτικά εργαλεία, αν χρειάζεται, για αυτούς τους χώρους εργασίας.
- 8) Στη συνέχεια, ανακτούμε ή δημιουργούμε και τα επιθυμητά αρχεία κατεργασίας.
- 9) Κάνουμε όποιες άλλες ρυθμίσεις απαιτούνται – βασικά ρυθμίζουμε οτιδήποτε δεν θα υποστεί ξανά αλλαγή ή θα το αλλάξουμε σπάνια και οτιδήποτε δεν θέλουμε να το ορίζουμε κάθε φορά (για παράδειγμα, ο ορισμός του μέσου συγκράτησης- fixture).
- 10) Δημιουργούμε ένα σχέδιο (drawing) του αρχικού μοντέλου (start model), χρησιμοποιώντας το ίδιο όνομα με αυτό του αρχικού μοντέλου και χρησιμοποιώντας

το αρχείο manufacturing.asm ως το προεπιλεγμένο μοντέλο “default model”. Κάνουμε τις ρυθμίσεις αυτές όπως επιθυμούμε και αποθηκεύουμε.

- 11) Στο τέλος αποθηκεύουμε το μοντέλο κατεργασίας. Τα αρχεία filename.mfg, και filename.asm θα αποθηκευτούν (μαζί με τυχόν εξαρτήματα συγκράτησης που έχουμε δημιουργήσει). Όλα αυτά τα αρχεία τα ενσωματώνουμε στο start\_model\_dir (και το αρχικό σχέδιο, εάν κάνουμε). Σημειώνεται ότι τα αρχεία αυτά συνίστανται μόνο για ανάγνωση (Read Only).

Για να χρησιμοποιήσουμε ένα ήδη δημιουργημένο πρότυπο, το επιλέγουμε από τη λίστα κατά τη δημιουργία ενός νέου μοντέλου κατεργασίας (mfg model). Για να είναι εφικτό αυτό, πρέπει πρώτα να ξεμαρκάρουμε το προεπιλεγμένο πρότυπο, όπως φαίνεται στην εικόνα ☐ Use default template και τότε μεταφερόμαστε στο παράθυρο επιλογής προτύπων (Εικόνα ΙΙΙ.6.1) και επιλέγουμε αυτό που επιθυμούμε.



Εικόνα ΙΙΙ.6.1

Αυτό που μένει λοιπόν να γίνει είναι η ανάκτηση του τελικού αντικειμένου, η δημιουργία ή η ανάκτηση του αντικειμένου προς κατεργασία (workcell) και μετά είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε τη δημιουργία ακολουθιών αριθμητικού ελέγχου (NC sequences).

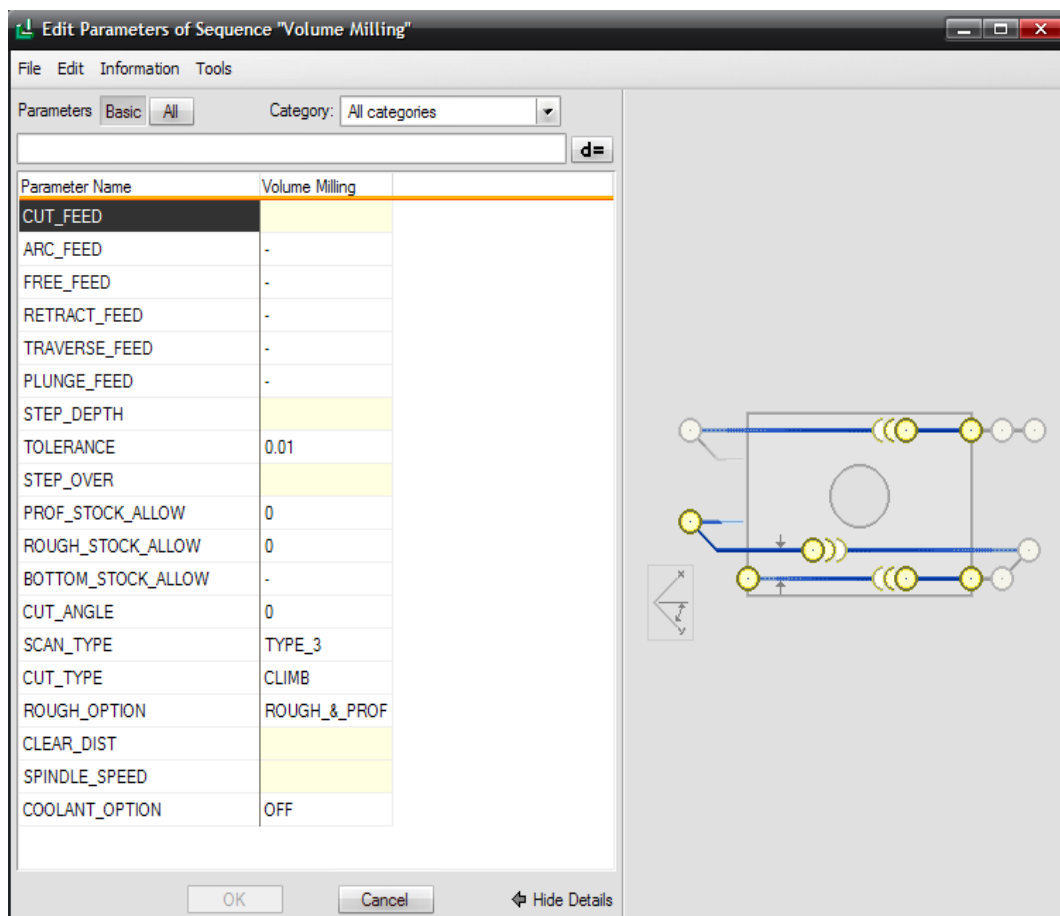
Μια ακόμα συμβουλή, εάν υπάρχει ένα αρχείο σχεδίου (για παράδειγμα, ένα φύλλο) με το ίδιο όνομα με το πρότυπο κατεργασίας, ταυτόχρονα θα δημιουργηθεί και ένα σχέδιο του νέου μοντέλου κατεργασίας. Για να είναι εφικτό αυτό, αρκεί μόνο να ορίσουμε την επιλογή rename\_drawings\_with\_object στην ένδειξη "both", για να το κάνει αυτόματα.

## 7. Παράμετροι κατεργασίας

Οι παράμετροι κατεργασίας είναι απαραίτητες κατά την διάρκεια της δημιουργίας των ακολουθιών αριθμητικού ελέγχου, καθώς περιλαμβάνουν παραμέτρους που σχετίζονται με την κίνηση του κοπτικού και παραμέτρους λειτουργίας της μηχανής CNC. Οι παράμετροι παίρνουν είτε αριθμητικές τιμές, όπως αποστάσεις είτε προεπιλεγμένες τιμές. Μερικές από αυτές τις παραμέτρους είναι η ταχύτητα πρόωσης, η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου, το βάθος κοπής καθώς και ο τρόπος με τον οποίο κινείται το κοπτικό κατά την κατεργασία μιας επιφανείας.

Οι παράμετροι στο Pro/Manufacturing χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, στις βασικές (basic), όπου εμφανίζονται μόνο οι απαραίτητες παράμετροι για την δημιουργία της κάθε ακολουθίας και στις όλες (all), όπου εμφανίζονται όλες οι παράμετροι που μπορούν να καθορίσουν την ακολουθία. Οι παράμετροι που είναι απαραίτητες για την δημιουργία μιας ακολουθίας αριθμητικού ελέγχου εμφανίζονται με κίτρινο πλαίσιο, ενώ οι άλλες παίρνουν τις προεπιλεγμένες τιμές που είναι συνήθως και αυτές που χρησιμοποιούνται (αντίστοιχα στο site tree, κατά τη δημιουργία ενός αρχείου κατεργασίας (site file), οι απαραίτητες παράμετροι έχουν την τιμή -1).

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα III.7.1) φαίνονται οι παράμετροι για μια ακολουθία volume milling:



Εικόνα III.7.1

Επίσης, οι παράμετροι κατεργασίας χωρίζονται στις εξής κατηγορίες: ονόματα (Names), παράμετροι κοπής (Cut param), επιλογές της κοπής (Cut option), παράμετροι πρόωσης (Feed), παράμετροι της μηχανής (Machine) και παράμετροι εισόδου εξόδου (Entry/Exit). Οι κατηγορίες Cut param και Cut option μεταβάλλονται ανάλογα με το είδος της ακολουθίας αριθμητικού ελέγχου, ενώ οι υπόλοιπες τρεις είναι σταθερές για όλα.

Στην κατηγορία ονομάτων (Names), ορίζουμε τα ονόματα που καθορίζουν τα αρχεία θέσης του κοπτικού (CL file) που θα δημιουργηθούν για την ακολουθία.

Στην κατηγορία των παραμέτρων κοπής ορίζουμε το βάθος κοπής (Step depth) ή τον αριθμό των περασμάτων (Number of cuts), το ελάχιστο βάθος κοπής (Min step depth), την ποσότητα ακατέργαστου υλικού που πρέπει να απομένει σε επιλεγμένες επιφάνειες, την γωνιά που θα σχηματίζει η πορεία του κοπτικού με τον άξονα X (Cut angle) και την επικάλυψη του κοπτικού κατά την κατεργασία.

Στην κατηγορία Cut option περιέχονται οι ρυθμίσεις κοπής που ελέγχουν παραμέτρους που αφορούν τον τρόπο της κίνησης του κοπτικού στα όρια του χώρου που γίνεται η κατεργασία. Οι παράμετροι αυτές ρυθμίζουν τον τρόπο της κίνησης κατά την διάρκεια της κατεργασίας (Scan Type) και ποιο τμήμα του δοκιμίου κατεργάζεται (trim to workpiece, rough option).

Στην κατηγορία των παραμέτρων πρόωσης υπάρχουν ρυθμίσεις που καθορίζουν την ταχύτητα κίνησης του κοπτικού και τις μονάδες με τις οποίες μετριέται η ταχύτητα αυτή. Μερικές από τις παραμέτρους αυτές είναι η ταχύτητα πρόωσης κατά την κατεργασία (Cut feed), κατά την απομάκρυνση του κοπτικού (Retract feed), κατά την διάρκεια της κίνησης σε τόξο (Arc feed) και κατά την διάρκεια εκτέλεσης βύθισης.

Στην κατηγορία των παραμέτρων της μηχανής περιέχονται οι ρυθμίσεις που προσδιορίζουν επιλογές που αφορούν την μηχανή CNC. Αυτές περιλαμβάνουν την ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου (Spindle speed), την φορά περιστροφής της (Spindle sense), το σύστημα συντεταγμένων της ακολουθίας, την ενεργοποίηση ή όχι της αντιστάθμισης των κοπτικών, την παροχή ή όχι του ψυκτικού υγρού (Coolant option) και την πίεση του (Coolant pressure).

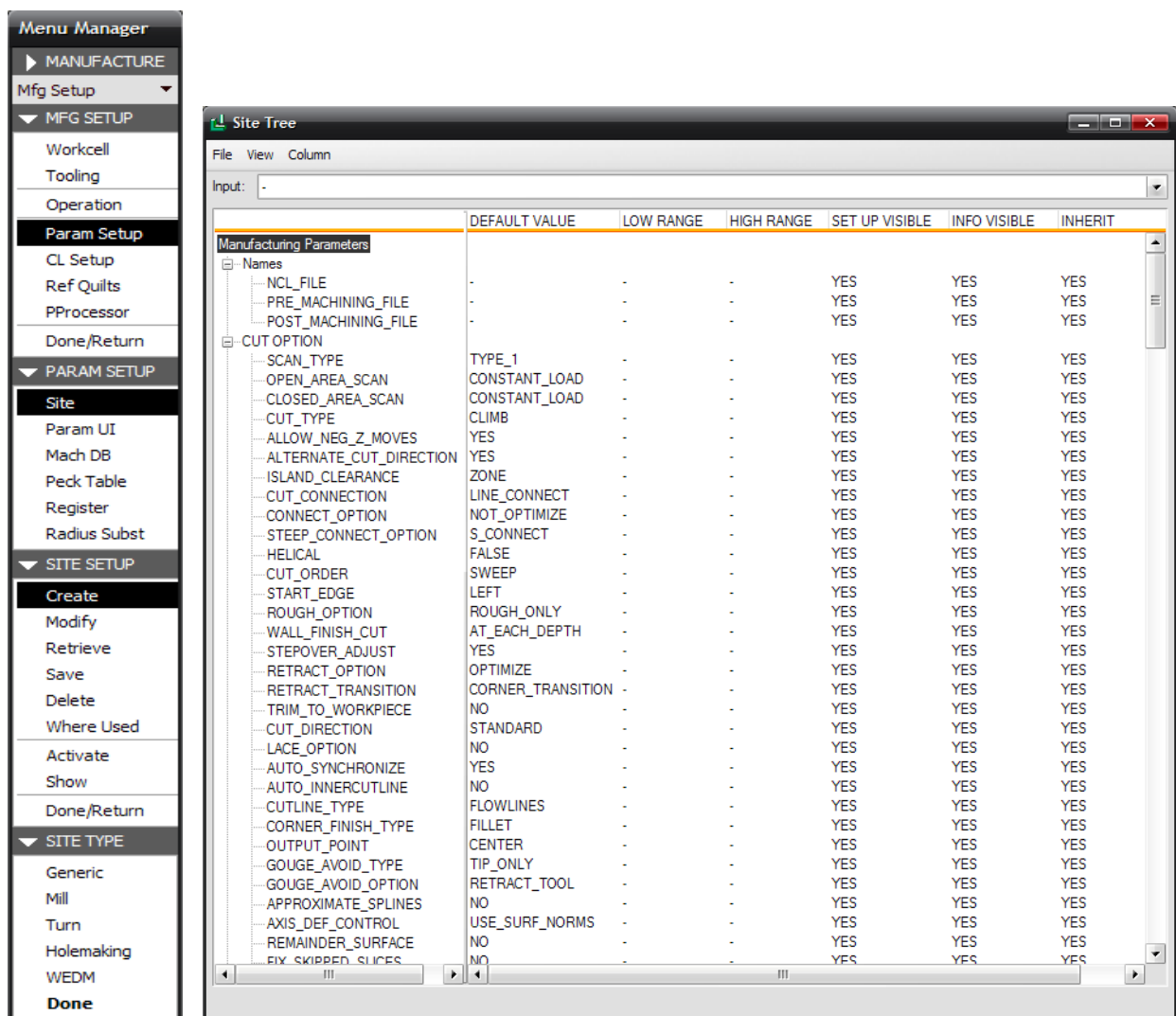
Στην κατηγορία των παραμέτρων εισόδου εξόδου υπάρχουν ρυθμίσεις που καθορίζουν τον τρόπο κίνησης του κοπτικού κατά την διάρκεια των κινήσεων εισόδου και εξόδου. Οι κυριότερες από αυτές είναι η απόσταση ασφαλείας (Clear Dist), δηλαδή, η απόσταση στον άξονα z προκειμένου να βρεθεί πάνω από το αντικείμενο, καθώς και οι γωνίες εισόδου και εξόδου.

### ι. Αρχεία κατεργασίας για παραμέτρους κατεργασίας

#### Χρήση αρχείων κατεργασίας για προεπιλεγμένες ρυθμίσεις των παραμέτρων

Αντί να αλλάζουμε συνεχώς ορισμένες βασικές παραμέτρους, κατά την δημιουργία μιας νέας ακολουθίας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα αρχείο κατεργασίας που έχουμε δημιουργήσει με τις επιθυμητές ρυθμίσεις των παραμέτρων. Για παράδειγμα, εάν θέλουμε να έχουμε ροή ψυκτικού κατά την διάρκεια κάθε κατεργασίας, δεν χρειάζεται να αλλάζουμε κάθε φορά την ένδειξη του ψυκτικού σε 'on', επειδή η προεπιλογή του είναι 'off'. Αρκεί μόνο να έχουμε δημιουργήσει ένα αρχείο με την ρύθμιση αυτή και να χρησιμοποιούμε το αρχείο αυτό.

Για να δημιουργήσουμε ένα αρχείο κατεργασίας επιλέγουμε από το Menu Manager → Mfg Setup → Param Setup → Site → Create → enter a name → select a type (επιλογή τύπου από Generic, Mill, Turn, Holmaking, WEDM). Στη συνέχεια, ρυθμίζουμε τις παραμέτρους όπως επιθυμούμε και να το αποθηκεύουμε (αποθηκεύεται ως .sit file στο pro\_mf\_param\_dir).





Για να χρησιμοποιήσουμε ένα αρχείο κατεργασίας εφαρμόζουμε μια από τις επόμενες μεθόδους:

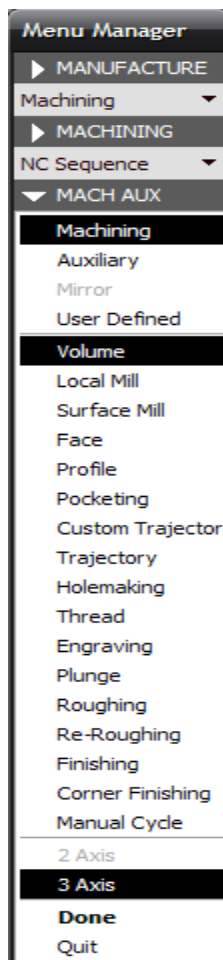
Μέθοδος 1: Mfg Setup→Param Setup → Site →Create (Retrieve) →Activate → choose site.

Μέθοδος 2: Στο παράθυρο διαλόγου της μηχανής - Machine Tool Setup (workcell) επιλέγουμε το κουμπί Defaults και επιλέγουμε το αρχείο κατεργασίας για να ενεργοποιηθεί για τον συγκεκριμένο χώρο εργασίας

Μέθοδος 3: Κατά τη διάρκεια της δημιουργίας μιας ακολουθίας αριθμητικού ελέγχου, επιλέγουμε File → Open Site από το μενού Mfg Params ή Edit → Copy from Site και στη συνέχεια διαλέγουμε το αρχείο που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

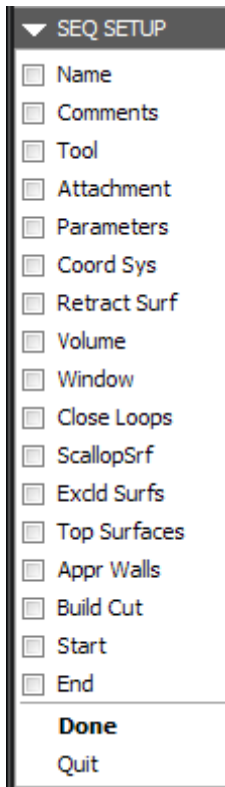
## 8. Δημιουργία ακολουθιών

Οι ακολουθίες αριθμητικού ελέγχου είναι ένα σύνολο εντολών που έχουν ως σκοπό την κατεργασία μιας περιοχής με συγκεκριμένες παραμέτρους. Για να δημιουργήσουμε μια νέα ακολουθία επιλέγουμε από το Menu Manager → Machining → NC Sequence. Στην οθόνη μας εμφανίζεται ένα σύνολο ακολουθιών αριθμητικού ελέγχου που μπορούν να δημιουργηθούν, καθώς και ο αριθμός των αξόνων με τους οποίους θα γίνει η κατεργασία (*Εικόνα ΙΙΙ.8.1*).



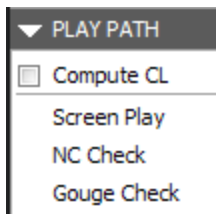
Εικόνα ΙΙΙ.8.1

Επιλέγοντας ένα από αυτά τα είδη κατεργασιών και τον αριθμό των αξόνων με τους οποίους θα γίνει η κατεργασία επιλέγουμε DONE και μεταφερόμαστε στο μενού επιλογών της ακολουθίας (Εικόνα III.8.2). Εδώ επιλέγουμε τις πληροφορίες που θέλουμε να εισάγουμε για την δημιουργία της ακολουθίας. Η πλειονότητα εξ αυτών έχει προαιρετικό χαρακτήρα μιας και συμπληρώνονται αυτόματα και υπάρχουν για την καλύτερη ρύθμιση της ακολουθίας. Τα σημαντικότερα εξ' αυτών είναι το όνομα της κατεργασίας (Name), τα σχόλια (Comments), οι παράμετροι της κατεργασίας (Parameters), το σύστημα συντεταγμένων (Coord Sys) και το κοπτικό εργαλείο της ακολουθίας (Tool).



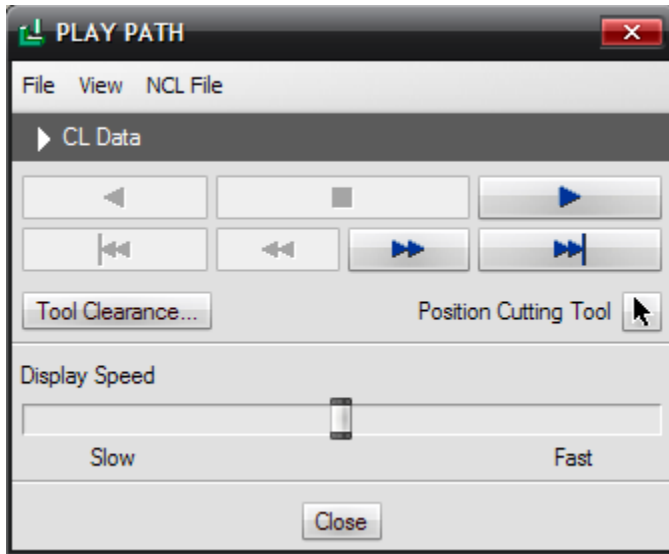
Εικόνα III.8.2

Αφού ολοκληρώσουμε τις επιλογές μας πατάμε το DONE και εμφανίζεται η πρώτη από τις επιλογές μας. Αφού, όπως θα δούμε και παρακάτω, συμπληρώσουμε τις απαιτούμενες πληροφορίες είμαστε έτοιμοι να δούμε την πορεία του κοπτικού η οποία αντιστοιχεί στα δεδομένα τα οποία εισαγάγαμε. Από το Menu manager επιλέγουμε το Play path. Με την επιλογή αυτή εμφανίζεται ένα νέο μενού με τρεις επιλογές (Εικόνα III.8.3)




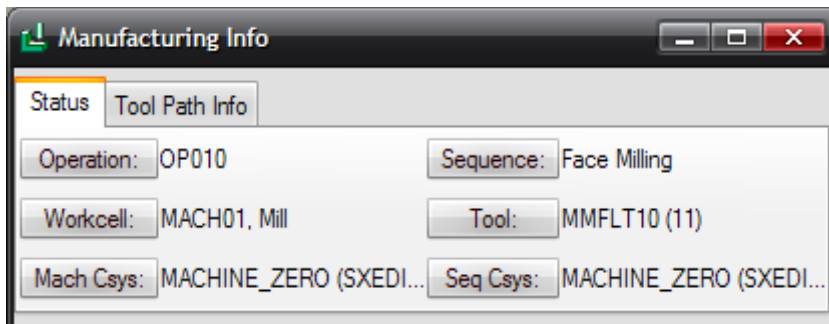
Εικόνα III.8.3

Για να δούμε την γραφική απεικόνιση της κίνησης του κοπτικού εργαλείου στο περιβάλλον του Pro/Manufacturing επιλέγουμε από το μενού αυτό το Screen Play και εμφανίζεται το παράθυρο της *Εικόνας ΙΙΙ.8.4*.

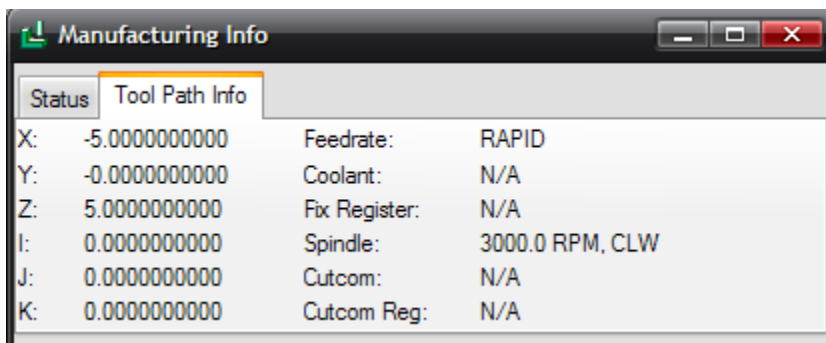


*Εικόνα ΙΙΙ.8.4*

Επίσης, με το εικονίδιο  εμφανίζεται το παράθυρο πληροφοριών της κατεργασίας. Στο παράθυρο αυτό, μπορούμε να δούμε το όνομα της μηχανής και του σημείου μηδέν, το κοπτικό εργαλείο κτλ. (*Εικόνα ΙΙΙ.8.5*) και πατώντας πάνω στο καθένα από αυτά μπορούμε να δούμε περισσότερες πληροφορίες, καθώς επίσης και το σημείο που βρίσκεται το κέντρο του κοπτικού σε σχέση με το σημείο μηδέν (Tool Path Info) (*Εικόνα ΙΙΙ.8.6*), καθ όλη τη διάρκεια της κίνησης του κοπτικού.



*Εικόνα ΙΙΙ.8.5*

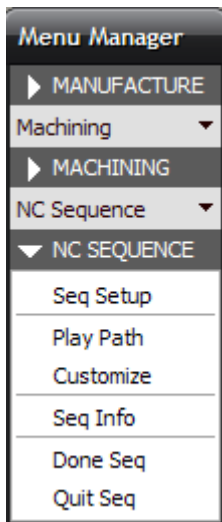


*Εικόνα ΙΙΙ.8.6*

Επιπλέον με την επιλογή NC Check μπορούμε να δούμε την γραφική προσομοίωση της κίνησης του κοπτικού στο πρόγραμμα Vericut. Στο πρόγραμμα αυτό, επιλέγουμε το Play από την κάτω δεξιά μπάρα για να δούμε την προσομοίωση της κατεργασίας μας.



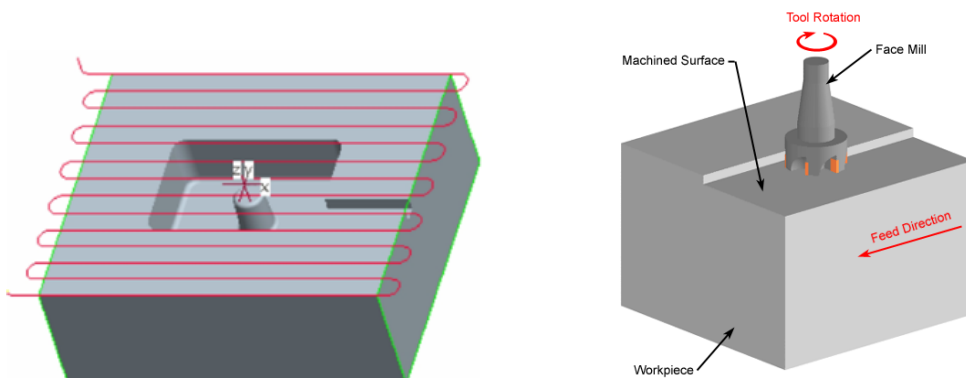
Τέλος, εάν η κατεργασία από την γραφική προσομοίωση μας ικανοποιεί, τότε επιλέγουμε Done Seq και ολοκληρώνουμε την δημιουργία της ακολουθίας (Εικόνα ΙΙΙ.8.7). Εάν όχι μπορούμε να τροποποιήσουμε τις παραμέτρους επιλέγοντας το Seq setup και επιλέγουμε ποιες παραμέτρους θέλουμε να τροποποιήσουμε.



Εικόνα ΙΙΙ.8.7

#### ι. Ακολουθία κατεργασίας προσώπου (Face)

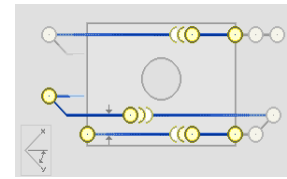
Στην ακολουθία προσώπου (Face) κατεργαζόμαστε το πρόσωπο του αντικειμένου, δηλαδή την επιφάνεια που είναι παράλληλη στο επίπεδο XY και βρίσκεται στην πάνω πλευρά του προς κατεργασία κομματιού (Εικόνες ΙΙΙ.8.8). Η κατεργασία του είναι μια κατεργασία 2.5 αξόνων και κατά την διάρκεια αυτής της ακολουθίας το κοπτικό εργαλείο εκτελεί διαδοχικά περάσματα πάνω από την επιφάνεια του προς κατεργασία κομματιού, απομακρύνοντας κάθε φορά μια στρώση υλικού με πάχος όσο το βάθος κοπής.



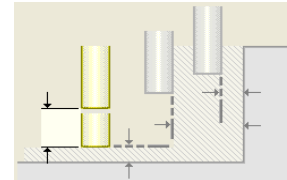
Εικόνες ΙΙΙ.8.8

Οι βασικές παράμετροι στην ακολουθία κατεργασίας προσώπου είναι:

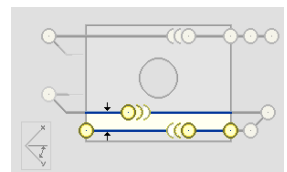
- ➔ Cut feed: η ταχύτητα πρόωσης κατά την κατεργασία



- ➔ Step depth: το βάθος κοπής, που καθορίζει το πάχος του υλικού που κατεργάζεται κάθε φορά το κοπτικό εργαλείο.

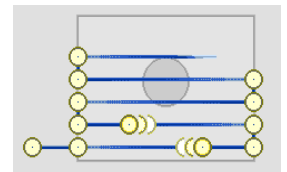


- ➔ Step over: η απόσταση μεταξύ διαδοχικών περασμάτων

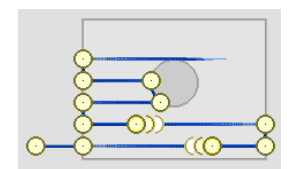


- ➔ Scan type: Η παράμετρος αυτή ελέγχει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό πάνω στην ακατέργαστη επιφάνεια. Οι επιλογές είναι:

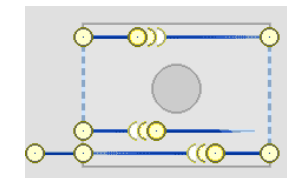
- *Type 1*, στην οποία το κοπτικό κινείται στην επιφάνεια ακολουθώντας την φορά δεξιά αριστερά.



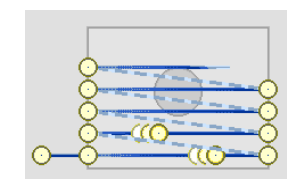
- *Type 3*, στην οποία το κοπτικό κινείται όμοια με τον πρώτο τρόπο, μόνο που κατεργάζεται ξεχωριστά κάθε ζώνη του αντικειμένου.



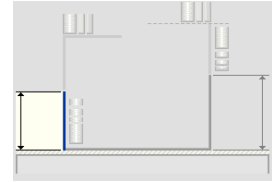
- *Type spiral*, στην οποία έχουμε σπειροειδή κίνηση του κοπτικού.



- *Type one dir*, στην οποία το κοπτικό κατεργάζεται μόνο στην κίνηση κατά την μια φορά και απομακρύνεται μεταξύ των διαδοχικών περασμάτων.

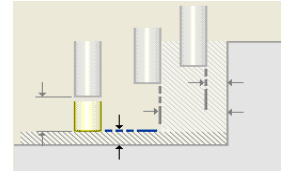


- ➡ Clear dist: η απόσταση ασφαλείας, δηλαδή η απόσταση στον z άξονα πάνω από το αντικείμενο.

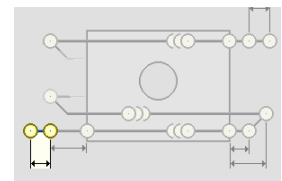


- ➡ Cut angle: η γωνία κοπής, δηλαδή η γωνία κίνησης του κοπτικού σε σχέση με τον άξονα X.

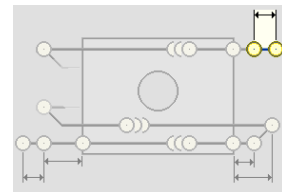
- ➡ Bottom stock allow: το πάχος του υλικού που αφήνουμε ακατέργαστο στο κομμάτι προκειμένου να κατεργαστεί σε επόμενη ακολουθία.



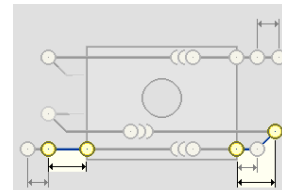
- ➡ Approach distance: η επιπλέον απόσταση του κοπτικού από την αρχή του κομματιού κατά την διάρκεια του πρώτου περάσματος, δηλαδή κατά την είσοδο του κοπτικού στο κομμάτι.



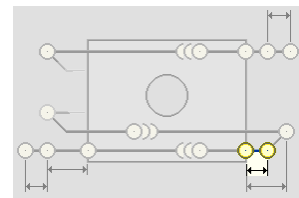
- ➡ Exit distance: η επιπλέον απόσταση του κοπτικού κατά το τελευταίο πέρασμα, δηλαδή κατά την έξοδο του κοπτικού από το κομμάτι.



- ➡ Start over travel: η απομάκρυνση του κοπτικού από το κατεργαζόμενο κομμάτι κατά την αρχή των περασμάτων.



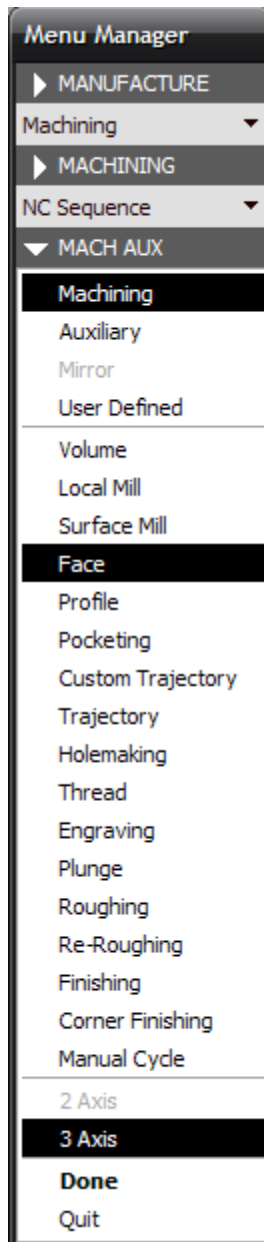
- ➡ End over travel: η απομάκρυνση του κοπτικού από το κατεργαζόμενο κομμάτι που προστίθεται αυτόματα.



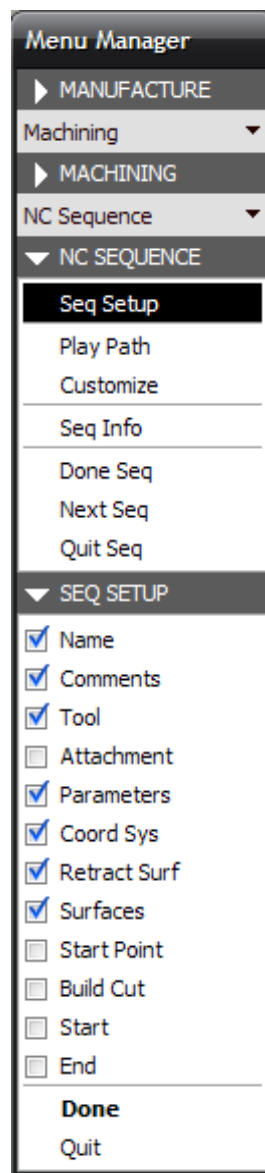
- ➡ Spindle speed: η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου.

**Δημιουργία της ακολουθίας κατεργασίας προσώπου**

Για τον καθαρισμό της επιφάνειας του προσώπου του ακατέργαστου κομματιού θα εκτελέσουμε δυο διαδοχικά περάσματα. Το ένα θα είναι για την εκχόνδριση (Rough) της επιφάνειας και το δεύτερο για την αποπεράτωσή της (Finish). Για να δημιουργήσουμε μια ακολουθία προσώπου επιλέγουμε Machining → NC Sequence → Face → Done (Εικόνα III.8.9), και στο επόμενο μενού που μας εμφανίζεται φροντίζουμε να είναι επιλεγμένα τα: Name, Comments, Tool, Parameters, Coord Sys, Retract Surf και Surfaces (Εικόνα III.8.10) και επιλέγουμε Done.




Εικόνα III.8.9

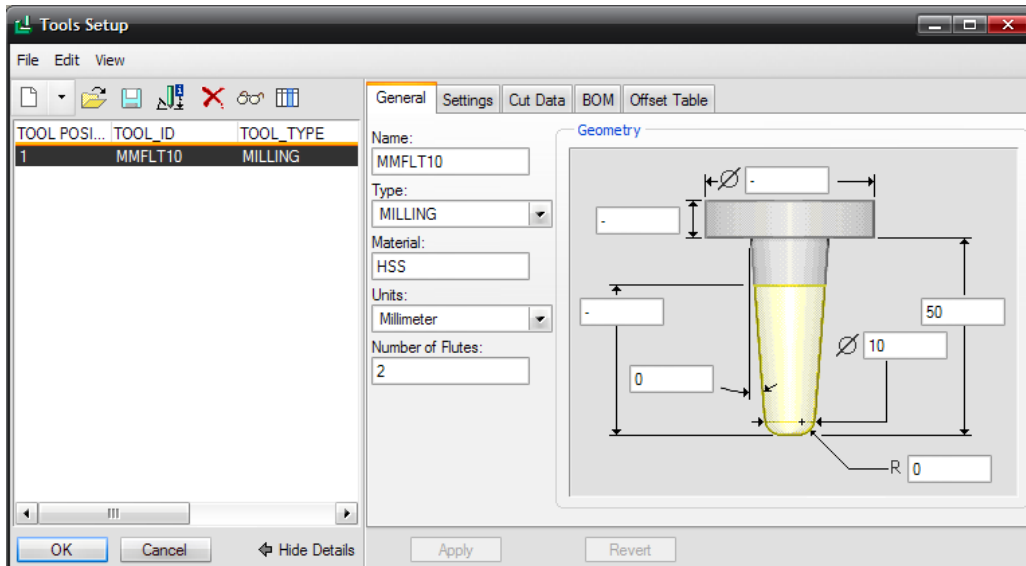


Εικόνα III.8.10

Στη συνέχεια εισάγουμε το όνομα της ακολουθίας (Face\_Rough) και πατάμε Enter και αφού ορίσουμε το όνομα της ακολουθίας εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο μπορούμε να εισάγουμε τα τυχόν σχόλια που έχουμε για την ακολουθία. Μόλις ολοκληρώσουμε την εισαγωγή των σχολίων επιλέγουμε OK.

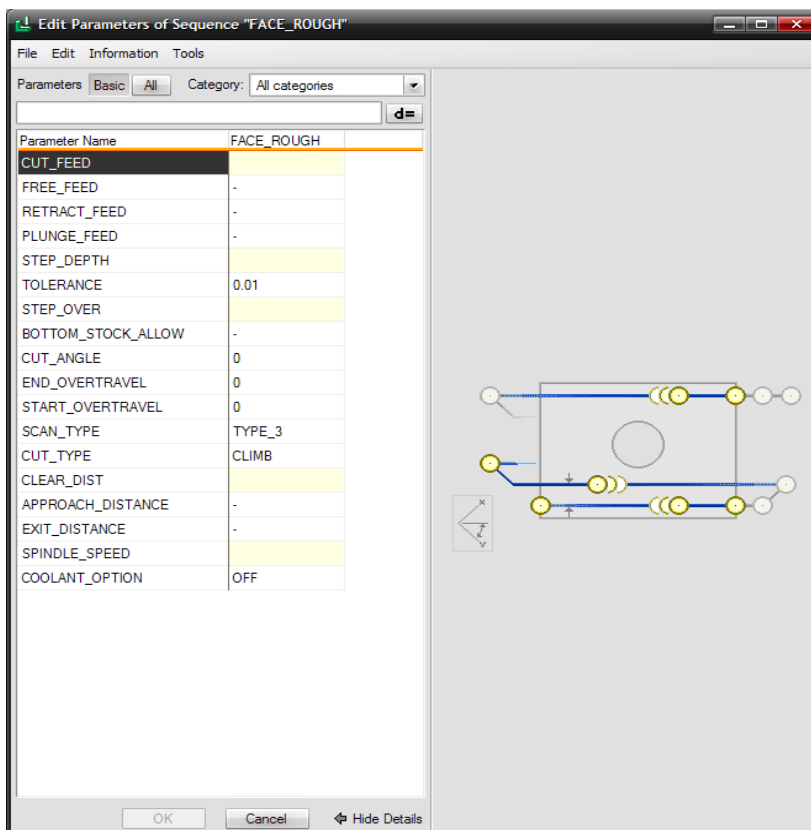


Έπειτα, εμφανίζεται το παράθυρο δημιουργίας των κοπτικών εργαλείων. Σε αυτό το παράθυρο επιλέγουμε ποιο κοπτικό είναι αυτό που θα κάνει την ακολουθία αριθμητικού ελέγχου. Για να ανακτήσουμε ένα αποθηκευμένο εργαλείο επιλέγουμε File → Open Parameter File ή απλά Open . Από την βιβλιοθήκη κοπτικών επιλέγουμε το κοπτικό, όπως φαίνεται στην *Εικόνα ΙΙΙ.8.11*:



*Εικόνα ΙΙΙ.8.11*

Σε αυτό το σημείο το Pro/manufacturing μας ζητά να εισάγουμε τις παραμέτρους κατεργασίας (*Εικόνα ΙΙΙ.8.12*).

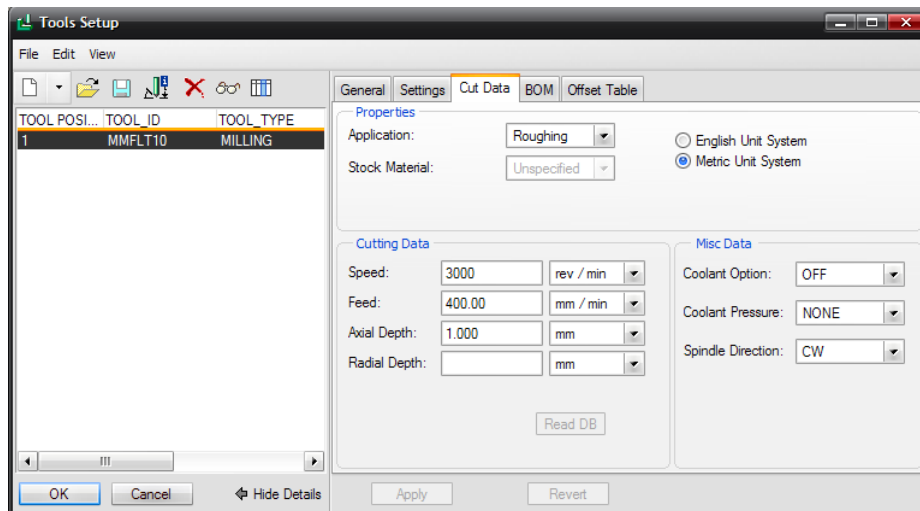


*Εικόνα ΙΙΙ.8.12*

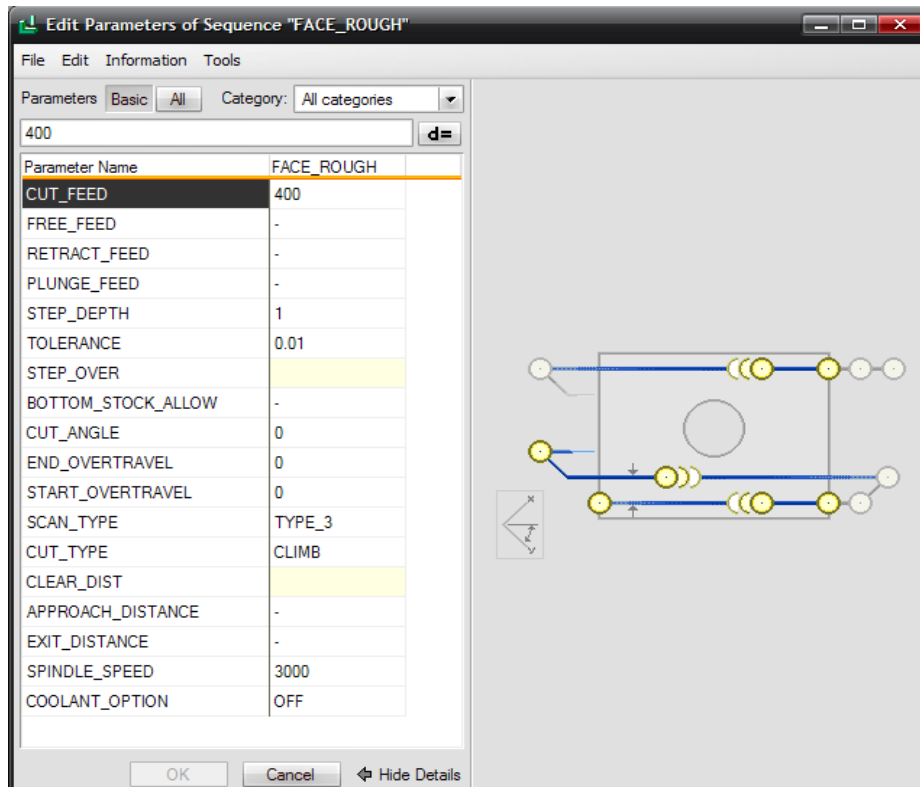
Πρέπει να αλλάξουμε λοιπόν τις παραμέτρους έτσι ώστε να έχουμε την επιθυμητή πορεία του κοπτικού. Εκτός από τον απλό τρόπο, που ορίζουμε εδώ τις τιμές στις παραμέτρους, υπάρχουν και 2 ακόμα τρόποι για να το κάνουμε αυτό.

### 1<sup>ος</sup> τρόπος

- Έχοντας εισάγει στο κοπτικό στην καρτέλα Cut Data (καρτέλα για Speeds & Feeds) τα δεδομένα και τις συνθήκες κοπής στο εργαλείο αυτό (roughing ή Finishing, όρια περιστροφής και πρόωσης)



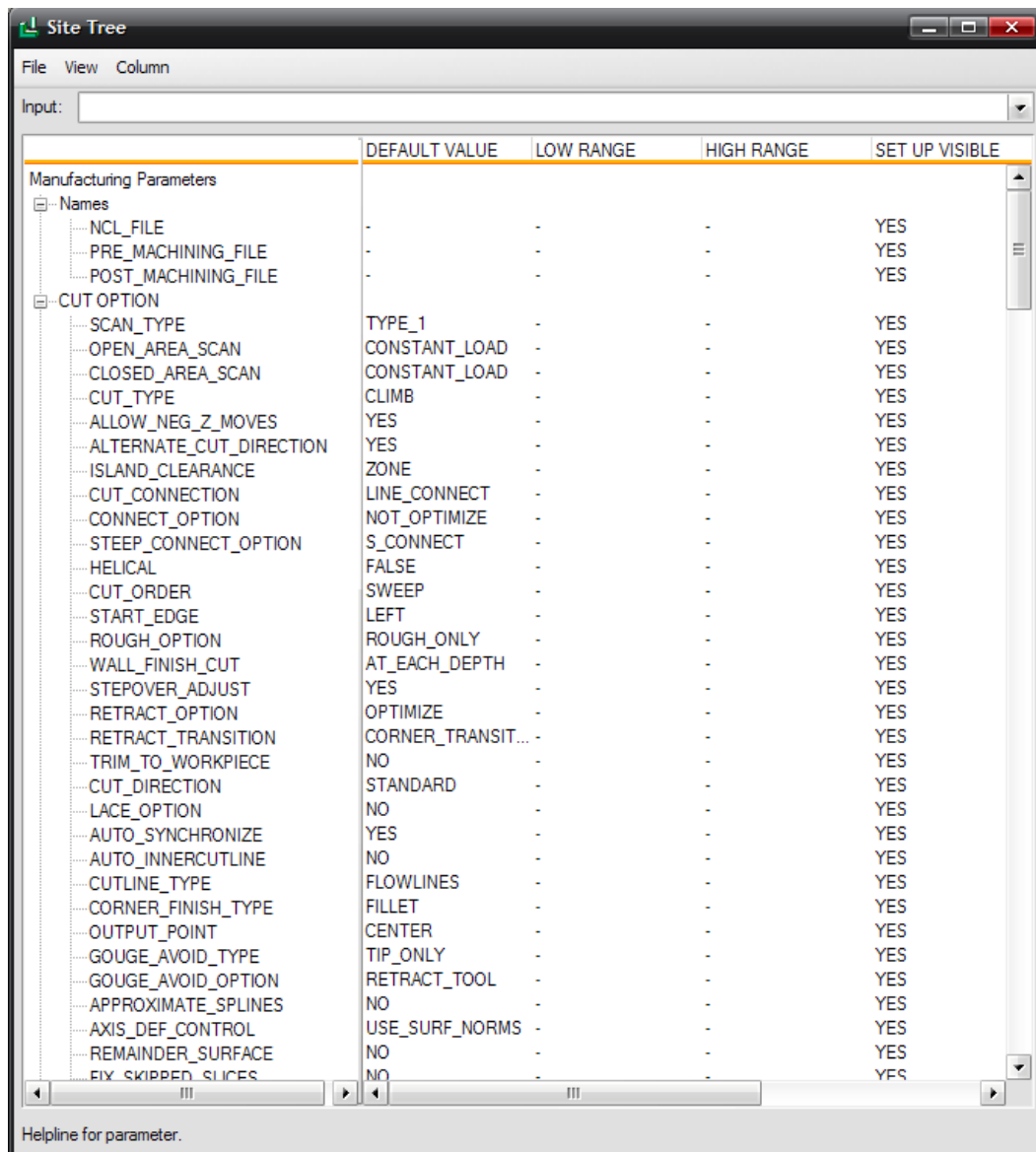
Επιλέγουμε από το παράθυρο των παραμέτρων Edit → Copy From Tool → All / Spindle / Feed / Depth → Rough και έτσι η ταχύτητα, η πρόωση και το κοπτικό βάθος διαβαστούν από το αρχείο του κοπτικού.



Στη συνέχεια κάνουμε τις απαραίτητες αλλαγές στις υπόλοιπες παραμέτρους.

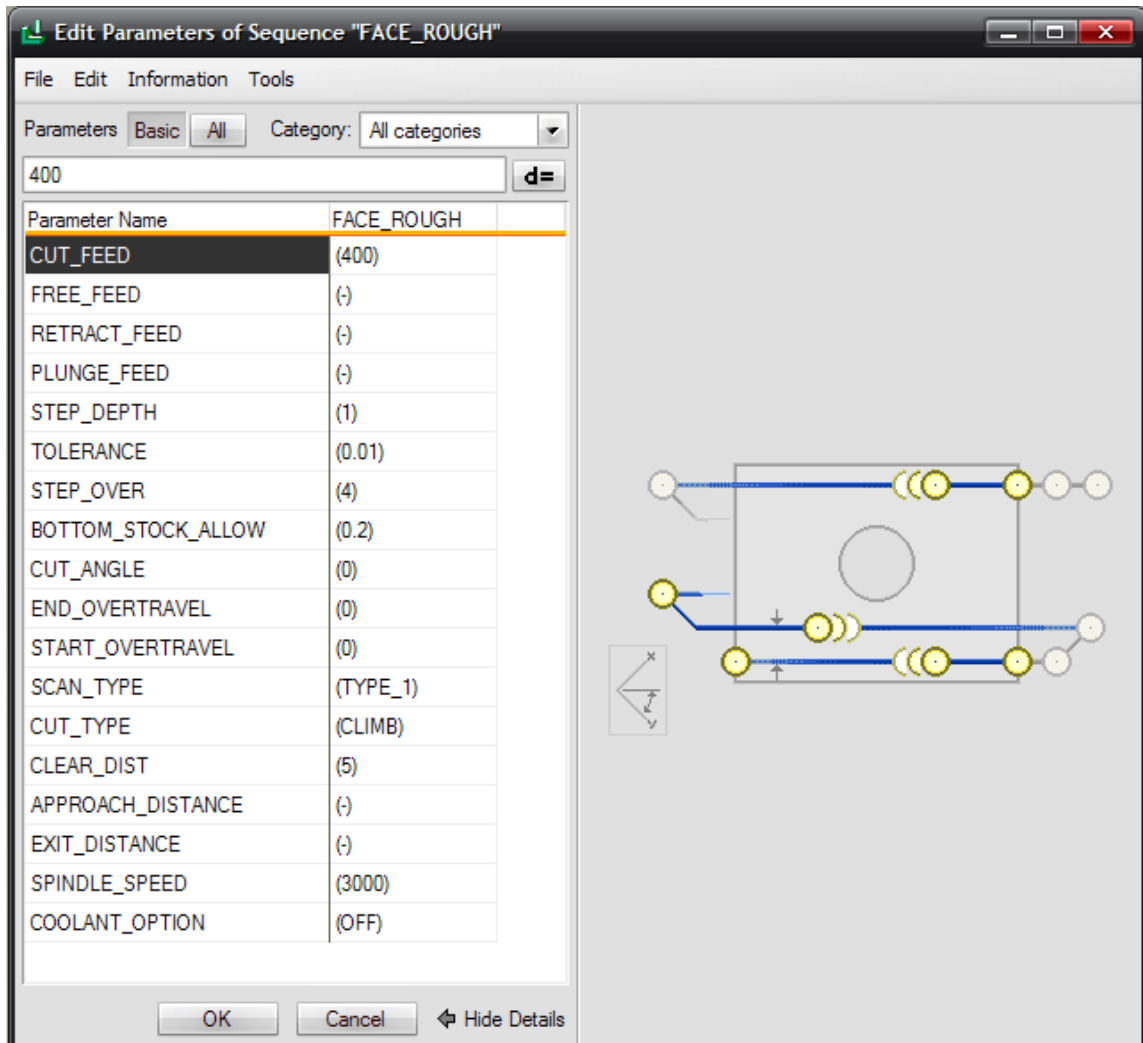
## 2<sup>ος</sup> τρόπος

- Έχοντας δημιουργήσει ένα αρχείο κατεργασίας (site file), με τον τρόπο που έχουμε αναφέρει παραπάνω, και έχοντας ορίσει τις βασικές παραμέτρους (υπενθυμίζουμε ότι εδώ οι απαραίτητες παράμετροι έχουν τιμή -1)



Αποθηκεύουμε το αρχείο κατεργασίας και επιλέγουμε από το παράθυρο των παραμέτρων File → Open Site ή Edit → Copy from Site και επιλέγουμε το συγκεκριμένο.

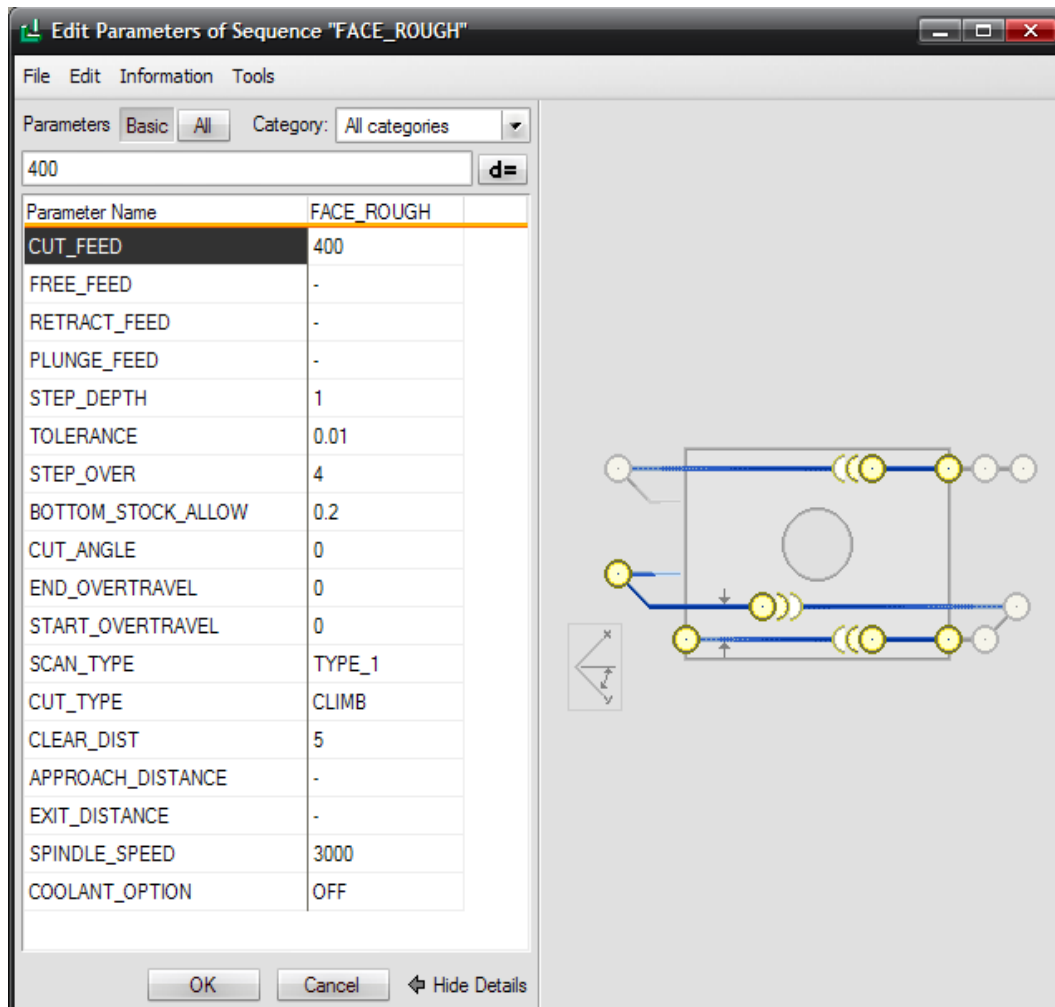
Έτσι αυτόματα οι παράμετροι αλλάζουν και παίρνουν τις τιμές από το συγκεκριμένο αρχείο κατεργασίας.



Στη συνέχεια κάνουμε τις απαραίτητες αλλαγές στις υπόλοιπες παραμέτρους, ανάλογα βέβαια με τις παραμέτρους που έχουμε ορίσει στο αρχείο κατεργασίας.

Αφού ολοκληρώσουμε την εισαγωγή των παραμέτρων με έναν από τους παραπάνω τρόπους, κλείνουμε το παράθυρο και επιλέγουμε OK.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι για την ακολουθία Face\_Rough (Εικόνα ΙΙΙ.8.13).

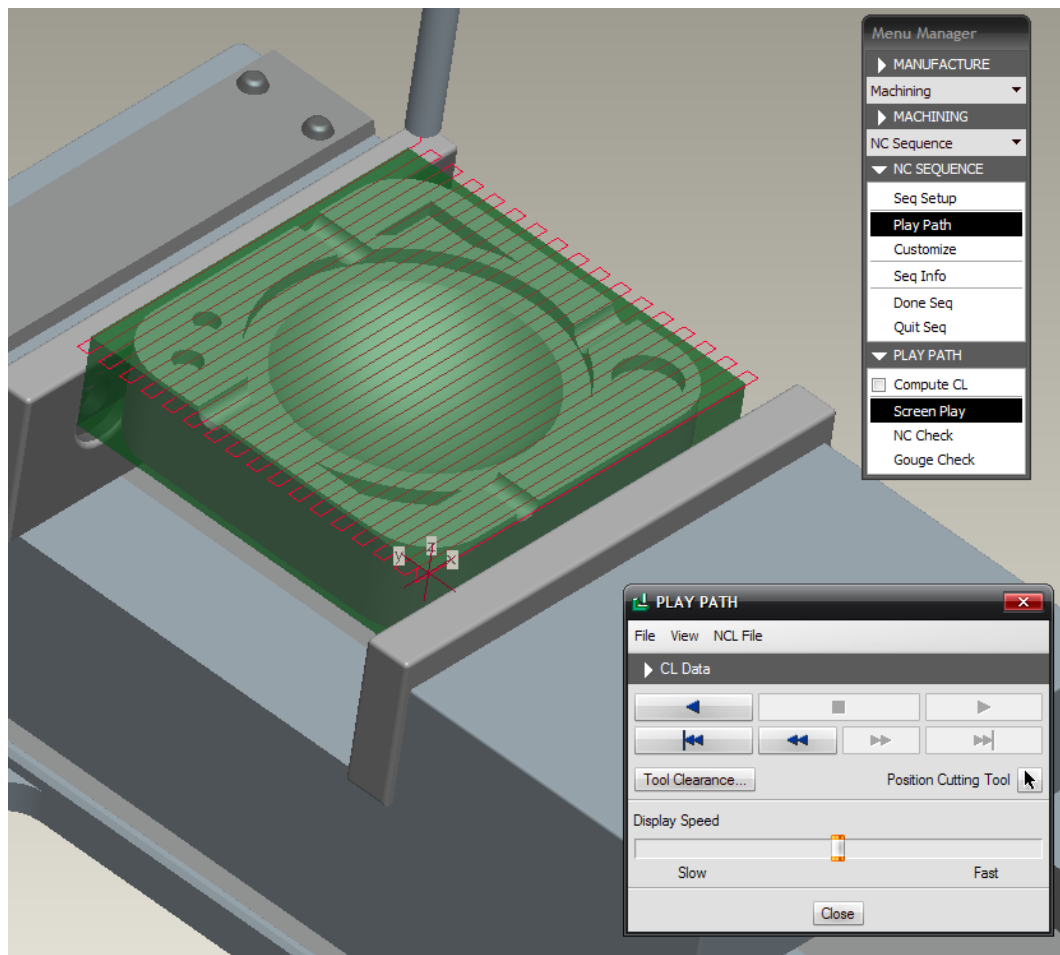


Εικόνα ΙΙΙ.8.13

Στην συνέχεια, μας ζητείται να επιλέξουμε το σύστημα συντεταγμένων (Coord Sys) με βάση το οποίο θα γίνει η ακολουθία. Επιλέγουμε το Machine Zero και μετά επιλέγουμε το επίπεδο επιστροφής, επιλέγοντας Select και το datum ADTM1 και OK.

Τέλος, μας ζητείται να περιγράψουμε τον όγκο που θα κατεργαστεί το κοπτικό. Αυτό μπορεί να γίνει είτε επιλέγοντας μια επιφάνεια του μοντέλου, είτε κατασκευάζοντας τον όγκο με κάποιο feature του Pro/E όπως extrude, sweep κ.λ.π. . Εμείς επιλέγουμε το Model και Done. Επιλέγοντας την άνω επιφάνεια του μοντέλου και Done έχουμε ολοκληρώσει την ρύθμιση της ακολουθίας.

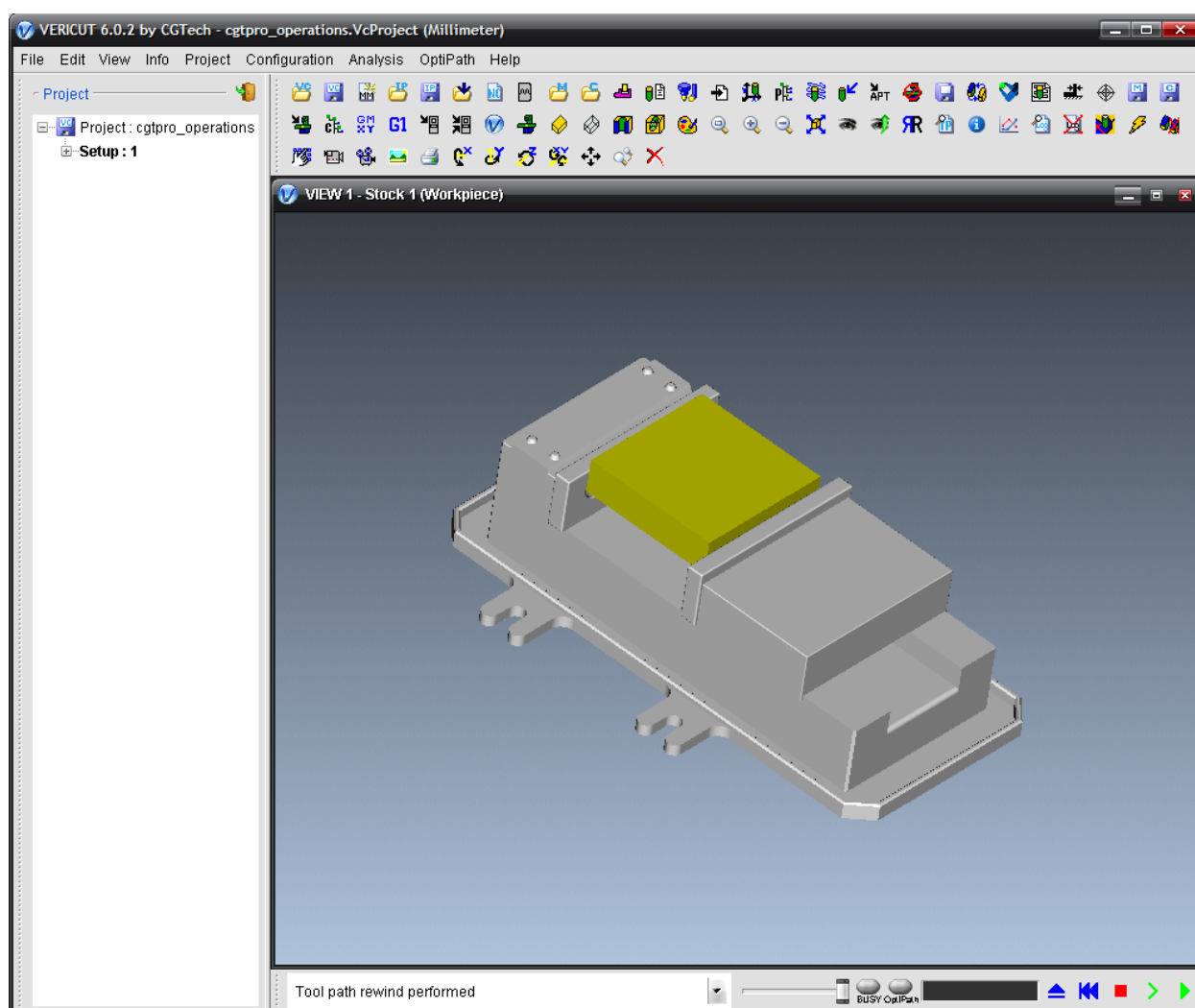
Στη συνέχεια, θέλουμε να ελέγξουμε εάν η κίνηση του κοπτικού είναι ικανή ώστε να κατεργαστεί το σύνολο της επιφανείας που επιλέξαμε. Στο μενού που μας εμφανίζεται λοιπόν επιλέγουμε Play path και screen play. Επιλέγουμε Play και βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) (Εικόνα ΙΙΙ.8.14).



Εικόνα ΙΙΙ.8.14

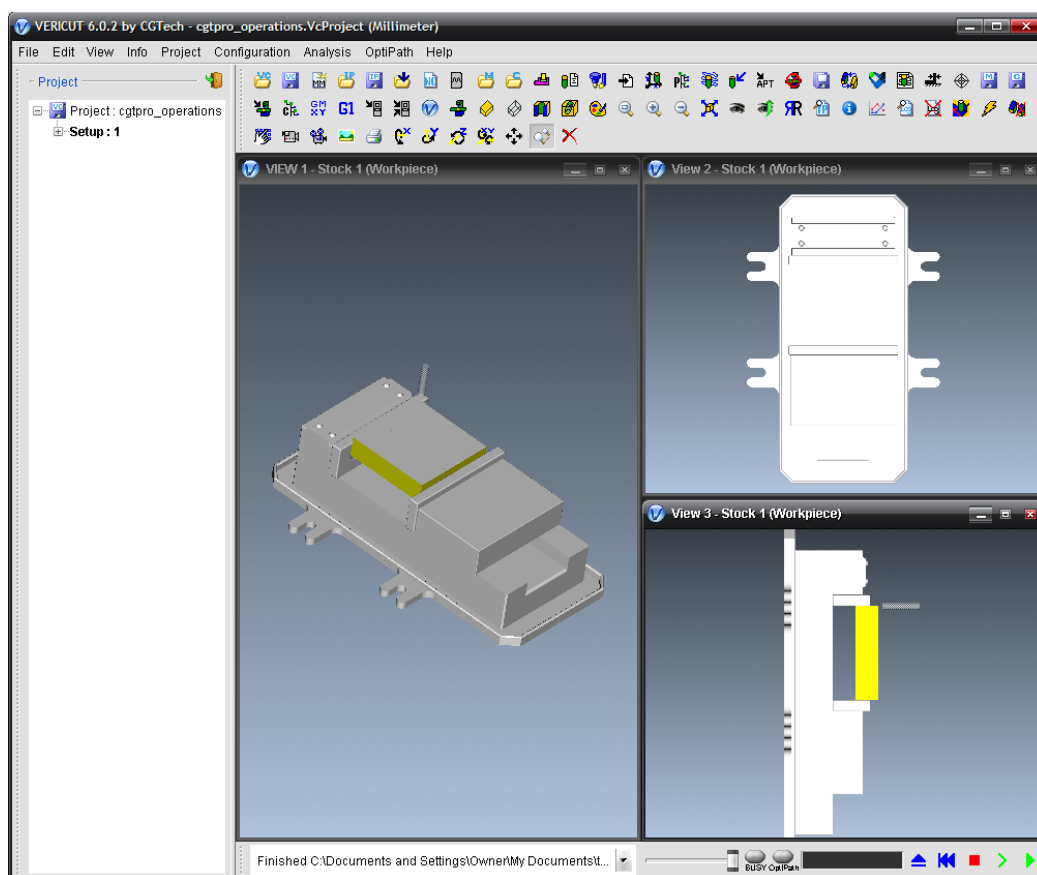
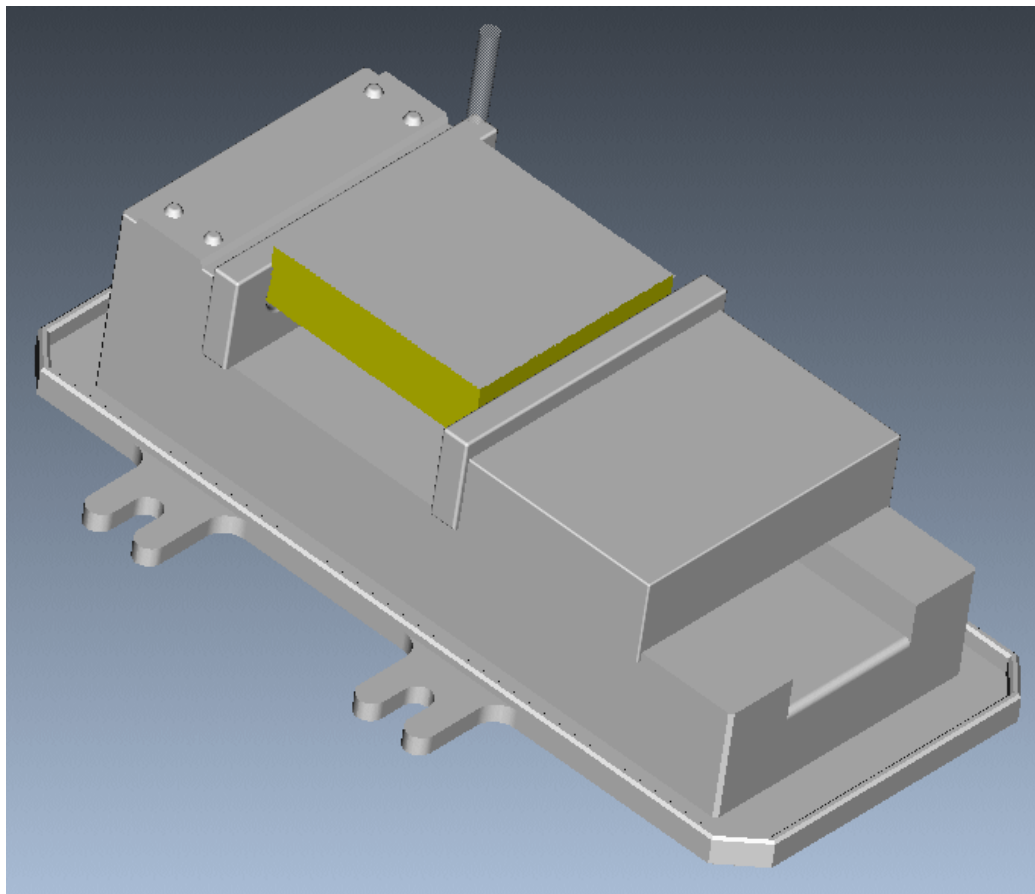
Στη συνέχεια, επιλέγουμε από το Play path, το NC Check για να εκτελέσουμε μια γραφική προσομοίωση κοπής στο πρόγραμμα Vericut.

Μεταφερόμαστε, λοιπόν, στο περιβάλλον του Vericut, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



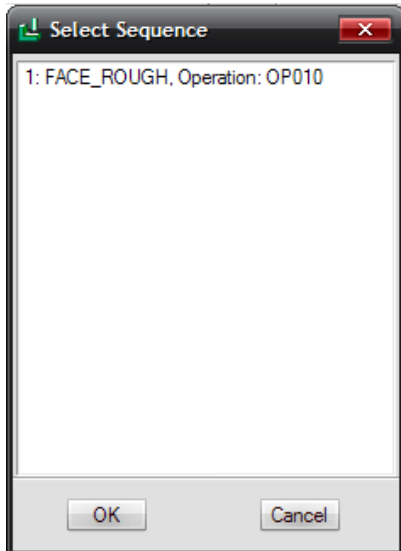
Και επιλέγοντας το Play γίνεται η προσομοίωση κοπής, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες ΙΙΙ.8.15).



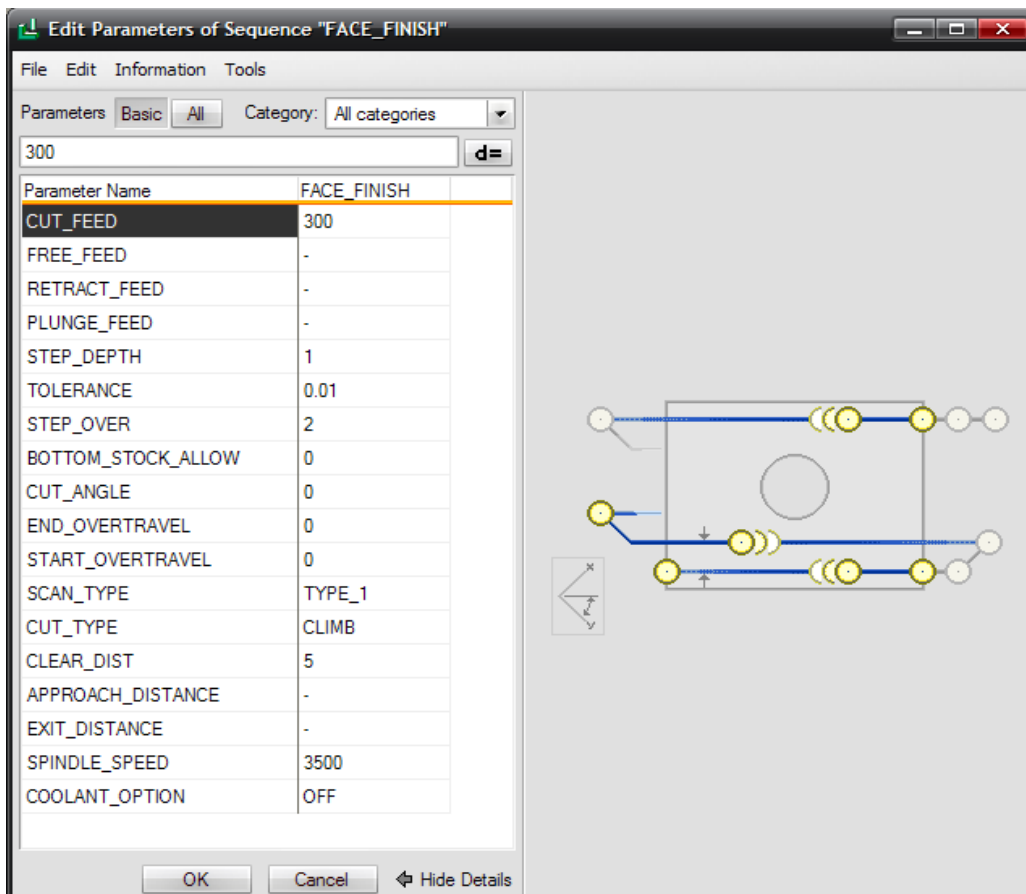


Εικόνες ΙΙΙ.8.15

Στην συνέχεια, κατασκευάζουμε με τον ίδιο τρόπο μια ακολουθία κατεργασίας του προσώπου του αντικειμένου για την αποπεράτωση της επιφάνειας (Finish). Εισάγουμε ως όνομα Face\_Finish, επιλέγουμε το ίδιο κοπτικό και στο παράθυρο επιλογών των παραμέτρων είτε κάνουμε έναν από τους προαναφερόμενους τρόπους είτε επιλέγουμε Edit → Copy from Sequence και επιλέγουμε την προηγούμενη ακολουθία Face\_rough.

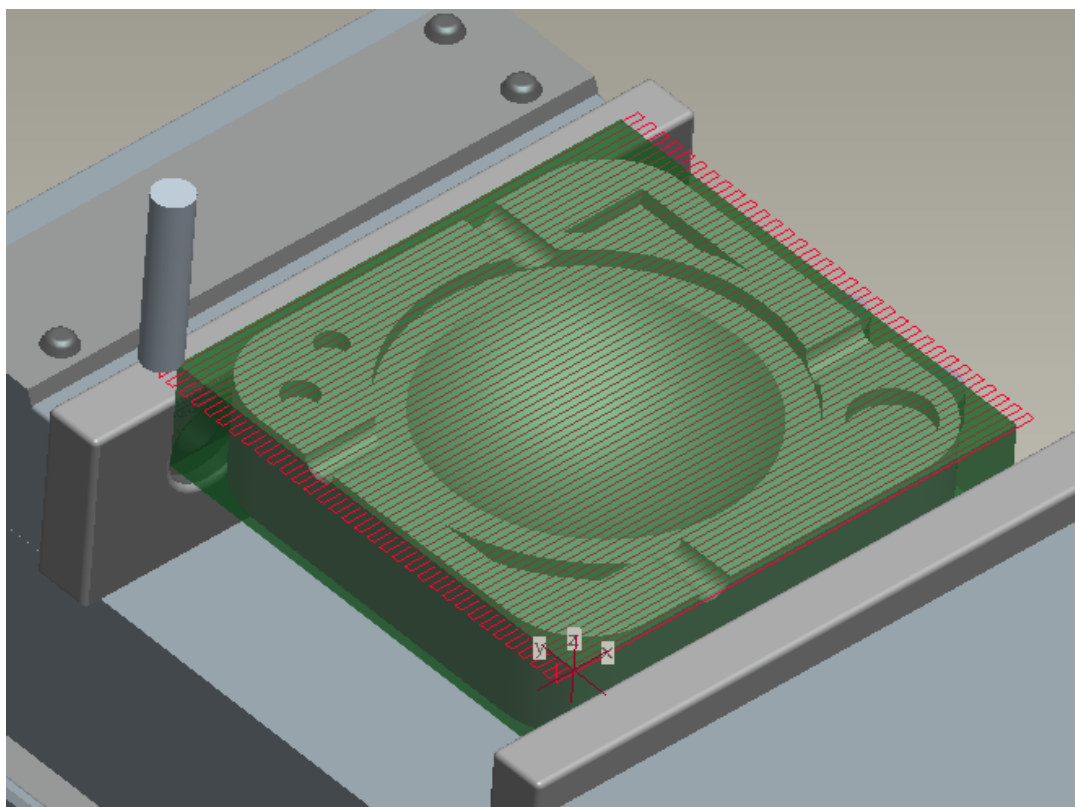


Η επιλογή αυτή θέτει τις παραμέτρους ίδιες με αυτές της προηγούμενης κατεργασίας και αλλάζουμε τις επιθυμητές παραμέτρους, με τελικές τιμές όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα ΙΙΙ.8.16).



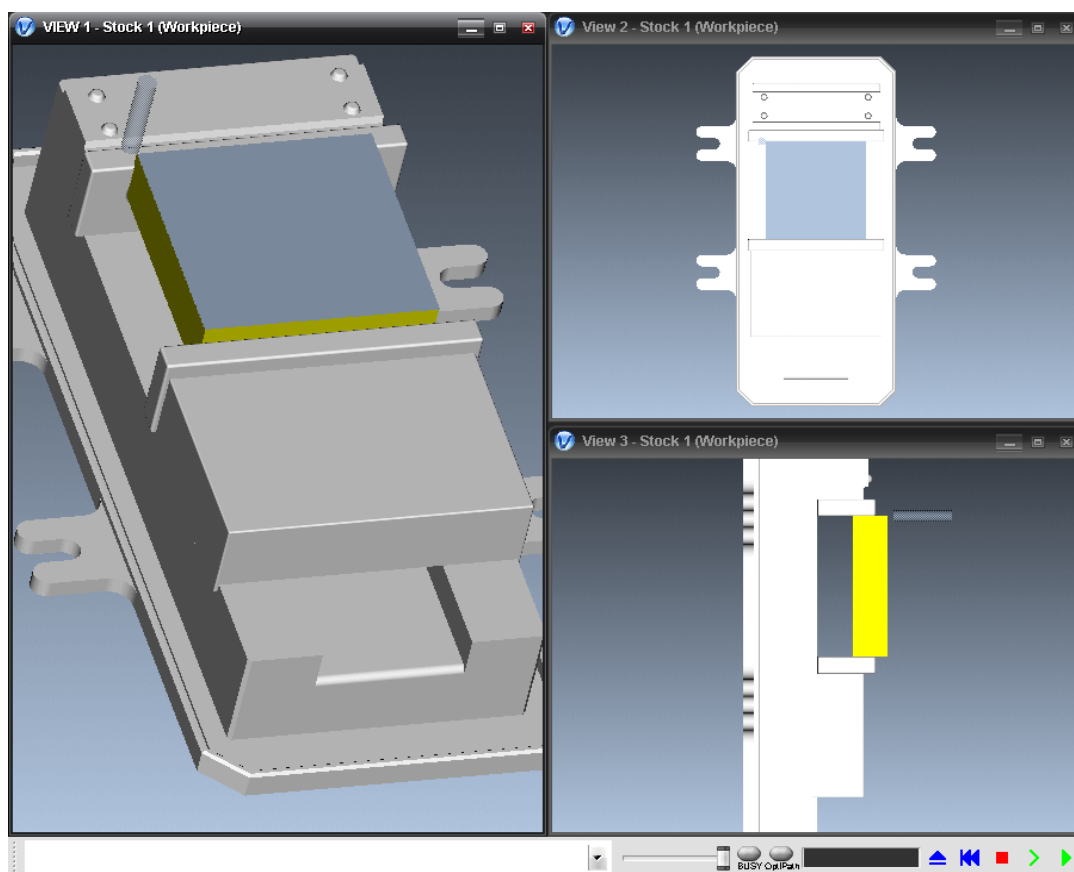
Εικόνα ΙΙΙ.8.16

Η πορεία του κοπτικού στην Face\_Finish φαίνεται στην *Εικόνα ΙΙΙ.8.17*.



Εικόνα ΙΙΙ.8.17

Και η προσομοίωση κοπής και των 2 παραπάνω ακολουθιών στο Vericut:



## ii. Ακολουθία κατεργασίας προφίλ (Profile)

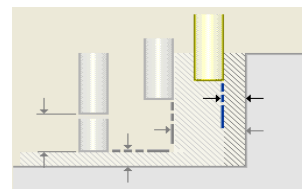
Στην ακολουθία προφίλ (Profile) κατεργαζόμαστε το προφίλ του αντικειμένου, δηλαδή την περιφερειακή επιφάνειά του. Κατά την κατεργασία αυτή, το κοπτικό εργαλείο κινείται περιφερειακά του αντικειμένου (Εικόνα III.8.18).



Εικόνα III.8.18

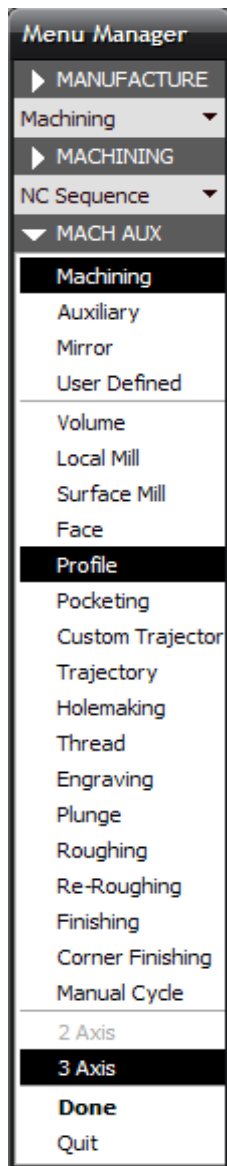
Οι βασικές παράμετροι στην ακολουθία κατεργασίας προφίλ είναι:

- Cut feed
- Step depth
- Clear dist
- Approach distance
- Exit distance
- Num prof passes: ο αριθμός ακτινικών περασμάτων που ελέγχει το πόσα περάσματα θα κάνει συνολικά το κοπτικό για να κατεργασθεί το δοκίμιο για κάθε ένα βάθος κοπής, για να κατεργαστεί το κοπτικό απόσταση μεγαλύτερη από την διάμετρο του.
- Prof increment: το ακτινικό βάθος κοπής, δηλαδή το πάχος του υλικού που το κοπτικό κατεργάζεται ακτινικά. Η μεταβλητή αυτή έχει νόημα εάν ο αριθμός ακτινικών περασμάτων είναι μεγαλύτερος του ένα.
- Prof stock allow: το πάχος του ακατέργαστου υπολοίπου, δηλαδή το πάχος του υλικού που θα παραμείνει στο προφίλ του αντικειμένου μετά το τέλος της κατεργασίας.
- Chk srf stock allow: Το πάχος του ακατέργαστου υπολοίπου, δηλαδή το πάχος του υλικού που θα παραμείνει σε μια επιλεγμένη επιφάνεια του αντικειμένου μετά το τέλος της κατεργασίας
- Spindle speed

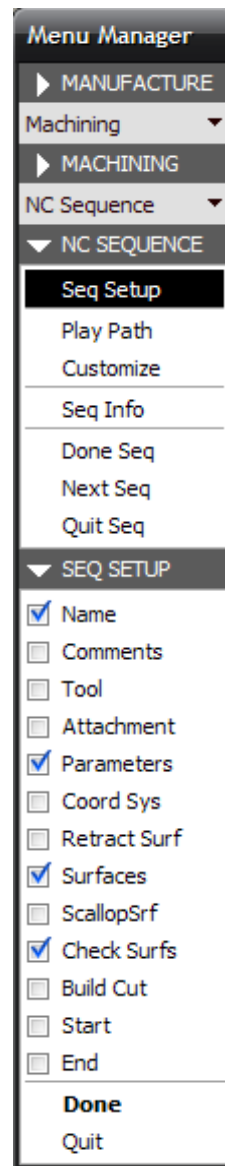


**Δημιουργία της ακολουθίας κατεργασίας προφίλ**

Για τον καθαρισμό του προφίλ του ακατέργαστου κομματιού θα εκτελέσουμε δυο διαδοχικά περάσματα. Το ένα θα είναι για την εκχόνδριση (Rough) της επιφάνειας και το δεύτερο για την αποπεράτωσή της (Finish). Για να δημιουργήσουμε μια ακολουθία προσώπου επιλέγουμε Machining → NC Sequence → New Sequence → Profile → Done (Εικόνα III.8.19), και στο επόμενο μενού που μας εμφανίζεται φροντίζουμε να είναι επιλεγμένα τα: Name, Tool, Parameters, Surfaces και Check Surfs (Εικόνα III.8.20) και επιλέγουμε Done.



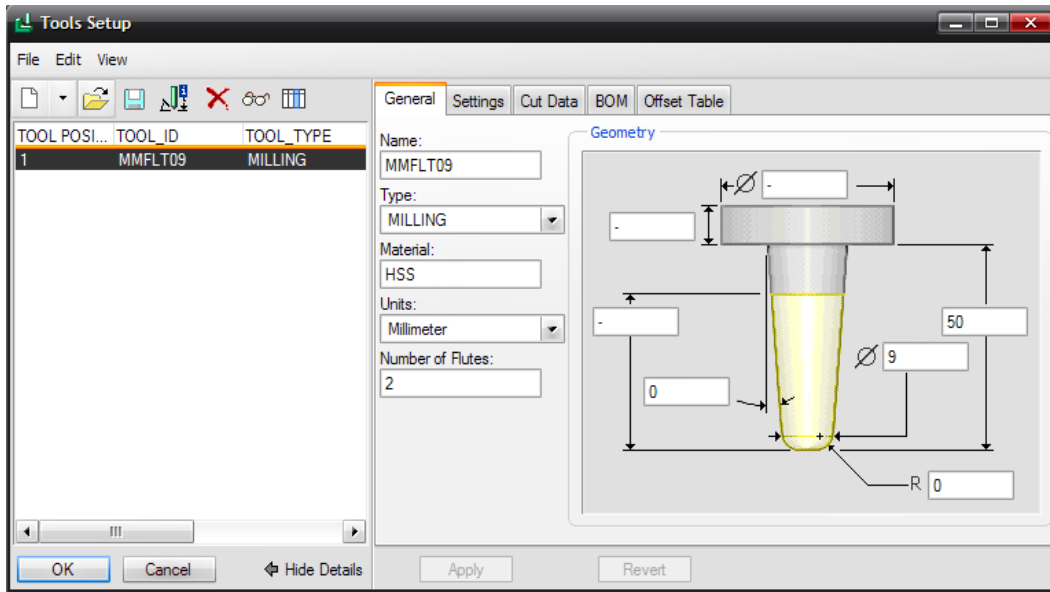
Εικόνα III.8.19



Εικόνα III.8.20

Στη συνέχεια εισάγουμε το όνομα της ακολουθίας (Profile\_Rough) και πατάμε Enter.

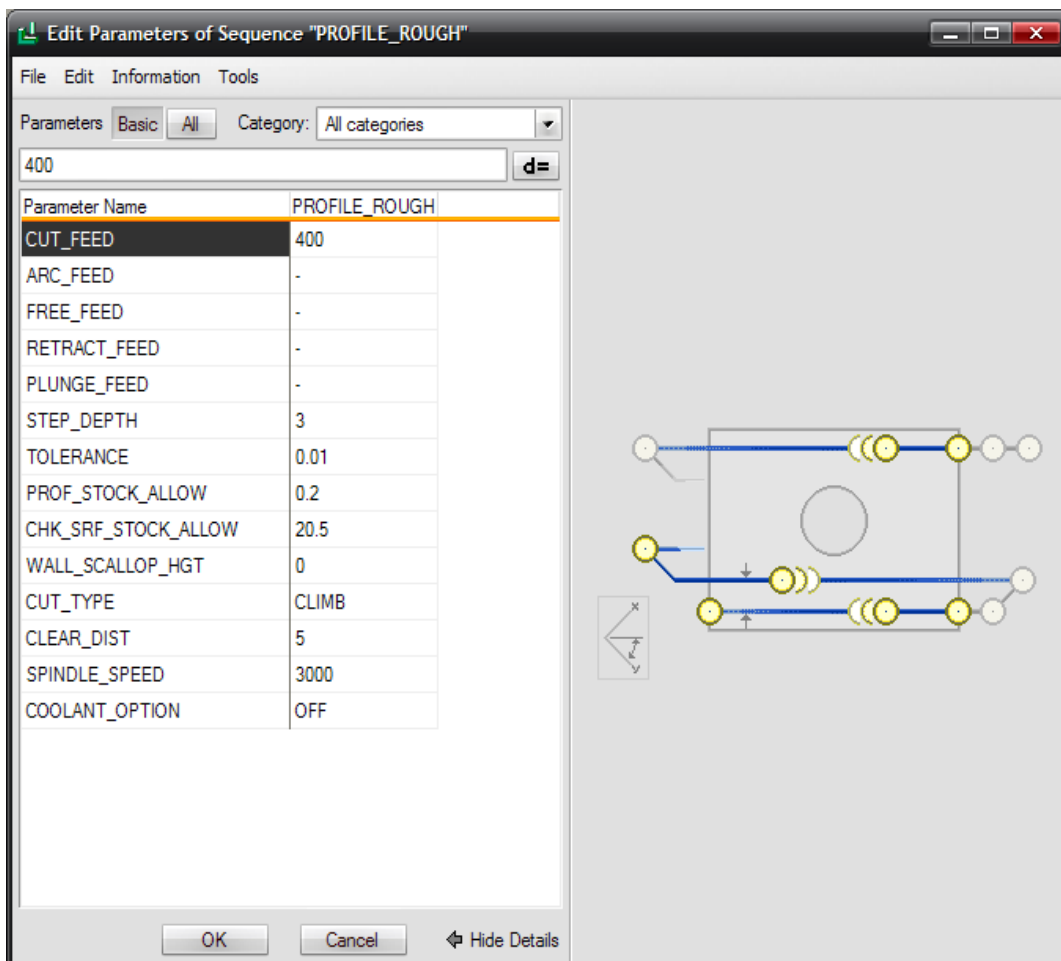
Από την βιβλιοθήκη κοπτικών επιλέγουμε το κοπτικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα III.8.21:



Εικόνα ΙΙΙ.8.21

Στη συνέχεια εισάγουμε τις παραμέτρους με έναν από τους παραπάνω τρόπους και επιλέγουμε OK.

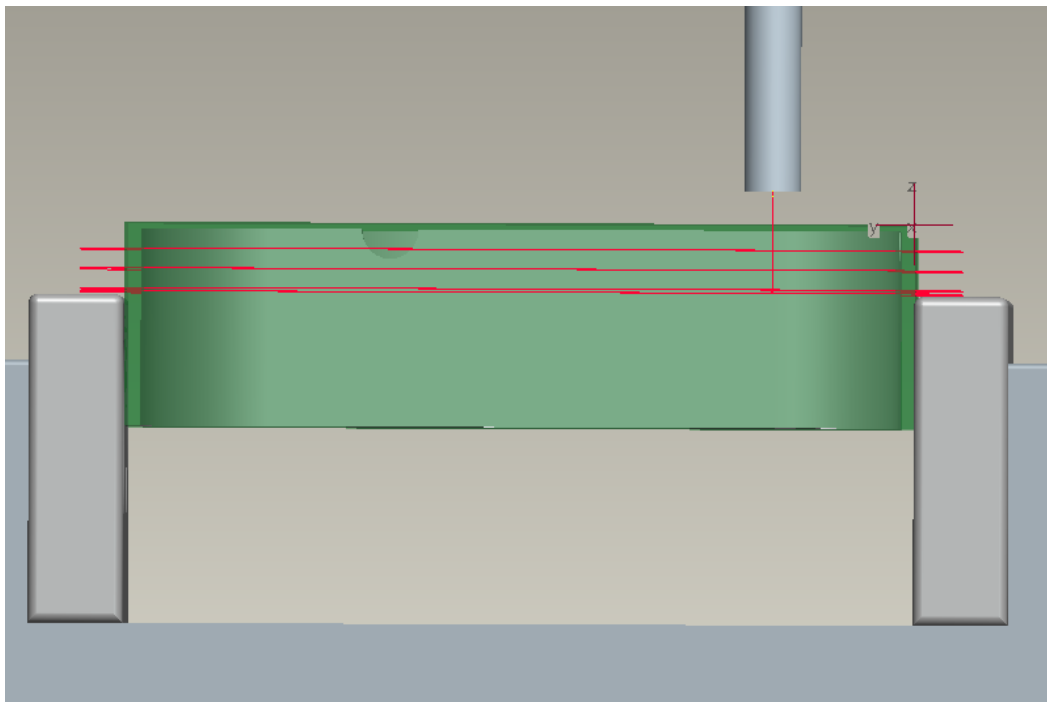
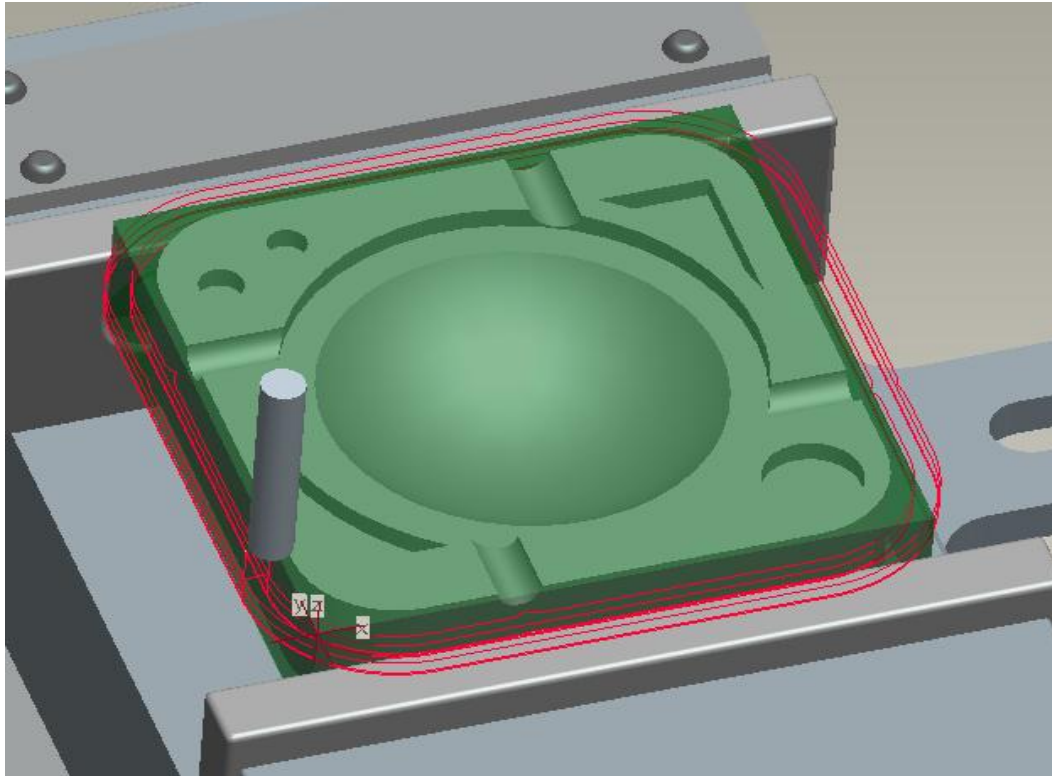
Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι για την ακολουθία Profile\_Rough (Εικόνα ΙΙΙ.8.22).



Εικόνα ΙΙΙ.8.22

Τέλος, για να ολοκληρώσουμε την ακολουθία, εισάγουμε και το προφίλ το οποίο θα κατεργαστεί η μηχανή. Αυτό γίνεται επιλέγοντας την περίμετρο του κομματιού, δηλαδή όλο το προφίλ και στο Check Surfs επιλέγουμε την κάτω επιφάνεια του αντικειμένου.

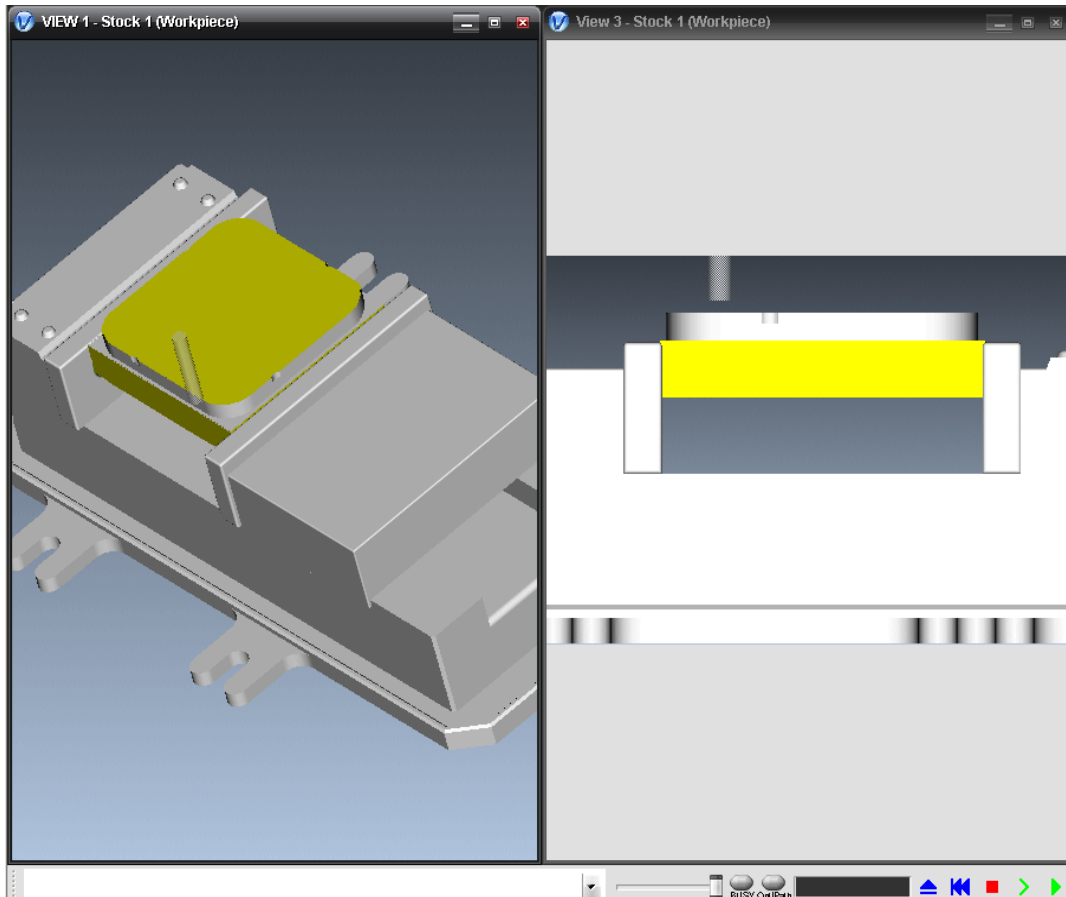
Στη συνέχεια θέλουμε να ελέγξουμε εάν η κίνηση του κοπτικού είναι ικανή ώστε να κατεργαστεί το σύνολο της επιφανείας που επιλέξαμε. Στο μενού που μας εμφανίζεται λοιπόν επιλέγουμε Play path και screen play. Επιλέγουμε Play και βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) (Εικόνες III.8.23).



Εικόνες III.8.23



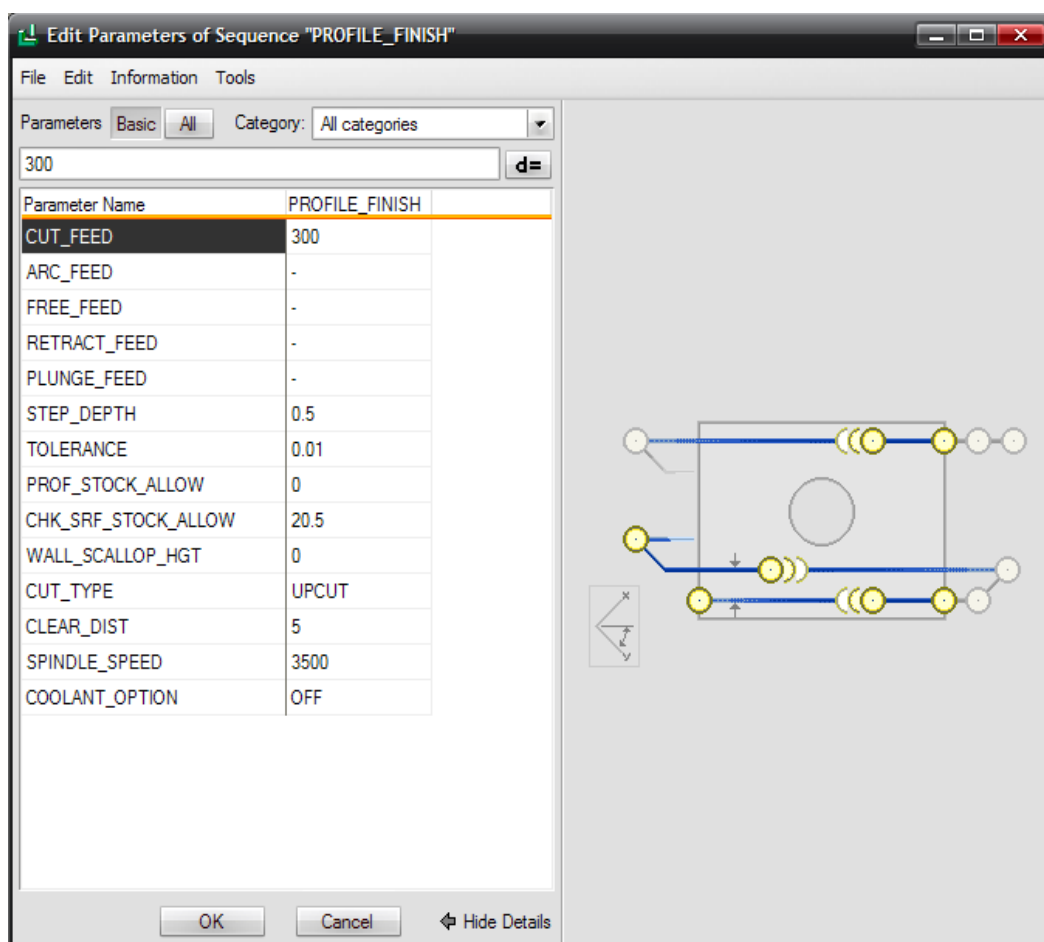
Όπως φαίνεται και στην γραφική απεικόνιση, έχουμε ρυθμίσει έτσι τις παραμέτρους (έχουμε ορίσει να απομείνουν 20,5mm υλικού στο Chk srf stock allow), ώστε το κοπτικό να μην χτυπά στις σιαγόνες της μέγγενης. Για να βεβαιωθούμε θα εκτελέσουμε μια γραφική προσομοίωση της κοπής με το Vericut (*Εικόνα ΙΙΙ.8.24*). Στο Vericut, εάν υπάρχει λάθος εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα.



*Εικόνα ΙΙΙ.8.24*

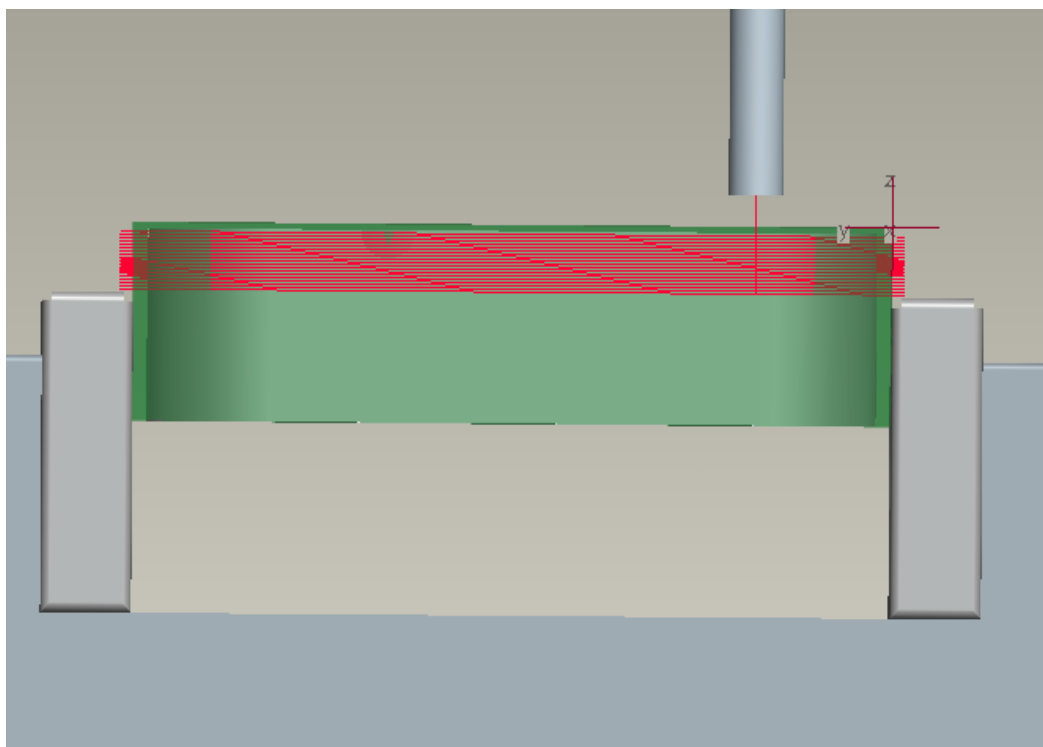
Στο Vericut δεν υπάρχει λάθος και η εικόνα που εμφανίζεται μας ικανοποιεί και έτσι επιλέγουμε Done seq για να ολοκληρώσουμε την δημιουργία της κατεργασίας.

Στην συνέχεια κατασκευάζουμε με τον ίδιο τρόπο μια ακολουθία κατεργασίας του προσώπου του αντικειμένου για την αποπεράτωση της επιφάνειας (Finish). Εισάγουμε ως όνομα Profile\_Finish, επιλέγουμε το ίδιο κοπτικό και στο παράθυρο επιλογών των παραμέτρων είτε κάνουμε έναν από τους προαναφερόμενους τρόπους είτε επιλέγουμε Edit → Copy from Sequence και επιλέγουμε την προηγούμενη ακολουθία Profile\_rough. Οι παράμετροι φαίνονται στη επόμενη εικόνα (*Εικόνα ΙΙΙ.8.25*).



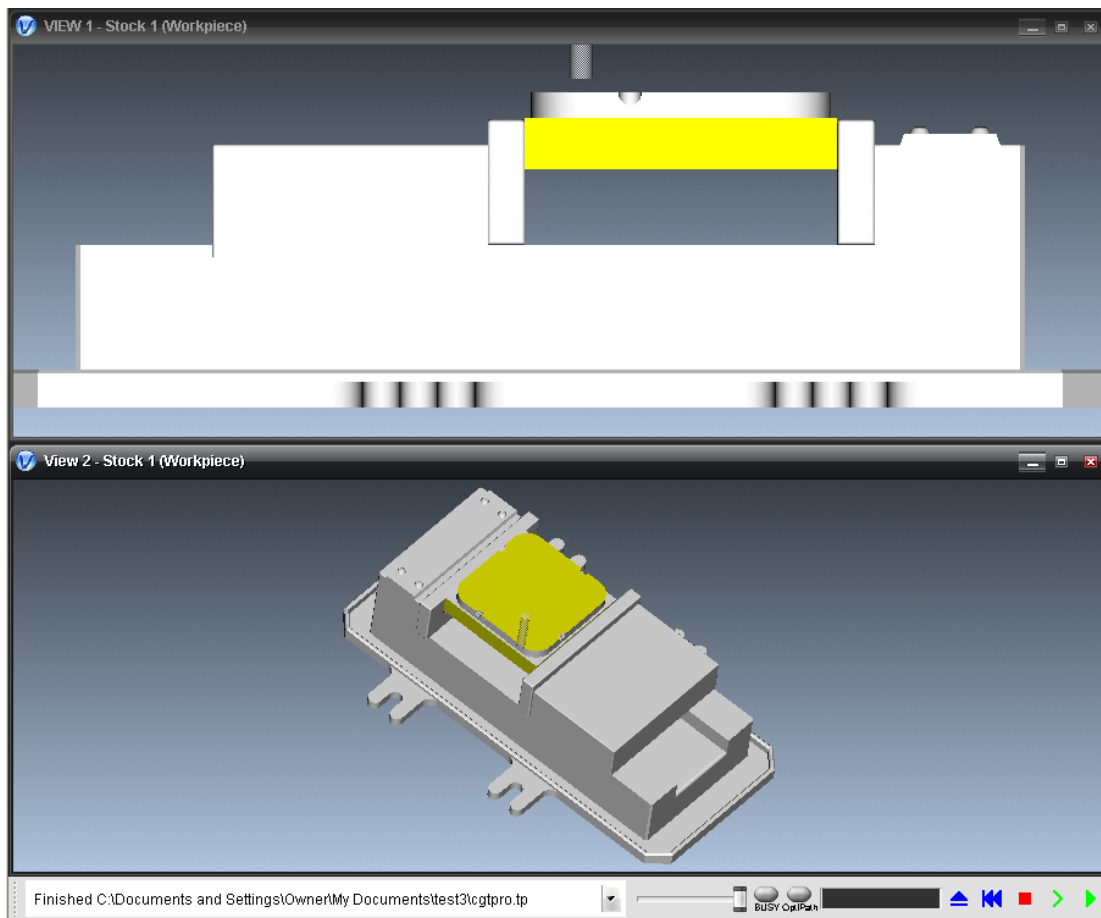
Εικόνα ΙΙΙ.8.25

Η πορεία του κοπτικού στην Profile\_Finish φαίνεται στην Εικόνα ΙΙΙ.8.26:



Εικόνα ΙΙΙ.8.26

Και η προσομοίωση κοπής και των 2 παραπάνω ακολουθιών στο Vericut:

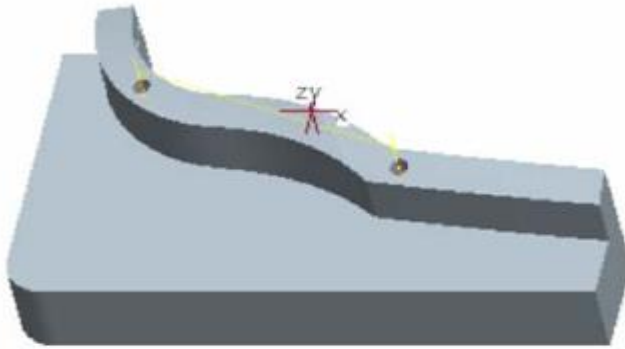


### iii. Ακολουθία κατεργασίας διάτρησης (Holemaking)

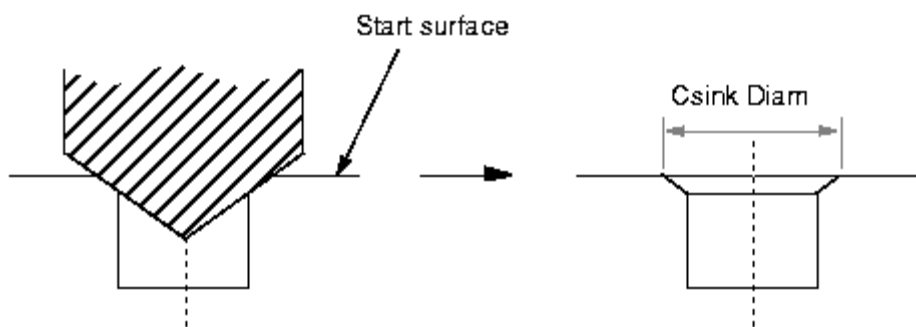
Με την δημιουργία της ακολουθίας διάτρησης μπορούμε να εκτελέσουμε οπές στο κατεργαζόμενο αντικείμενο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι που μπορούμε να επιλέξουμε σε αυτήν την κατεργασία. Οι τύποι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι:

- ▶ ο τύπος *drill*: αναφέρεται σε κλασσική διάνοιξη οπής από κοπτικό εργαλείο. Οι επιλογές σε αυτόν τον τύπο είναι: Standard, Deep, Break Chip, Web, Back.
- ▶ ο τύπος *face*: αναφέρεται στη δημιουργία οπής με διασφάλιση ομαλής επιφάνειας στη βάση της οπής.
- ▶ ο τύπος *bore*: αναφέρεται στη διάνοιξη μιας τελικής οπής με μεγάλη ακρίβεια.
- ▶ ο τύπος *countersink*: αναφέρεται στη διάνοιξη της αρχής της οπής με κατάλληλα διαμορφωμένο εργαλείο, ώστε να δημιουργήσει εσωτερικό chamfer στην ακμή της οπής (κωνική οπή). Η επιλογή σε αυτόν τον τύπο είναι Back, για back countersinking.
- ▶ ο τύπος *tap*: αναφέρεται στην δημιουργία σπειρώματος σε υπάρχουσα οπή. Οι επιλογές σε αυτόν τον τύπο είναι Fixed και Floating.
- ▶ ο τύπος *ream*: αναφέρεται στην αποπεράτωση μιας οπής με υψηλή ακρίβεια.

- ▶ ο τύπος *custom*: αναφέρεται στη διάνοιξη και χρησιμοποίηση επιθυμητών κύκλων κατεργασίας για το τρέχων κοπτικό εργαλείο μηχανής.



τύπος *drill*



τύπος *countersink*

Οι βασικές παράμετροι στην ακολουθία κατεργασίας διάτρησης είναι:

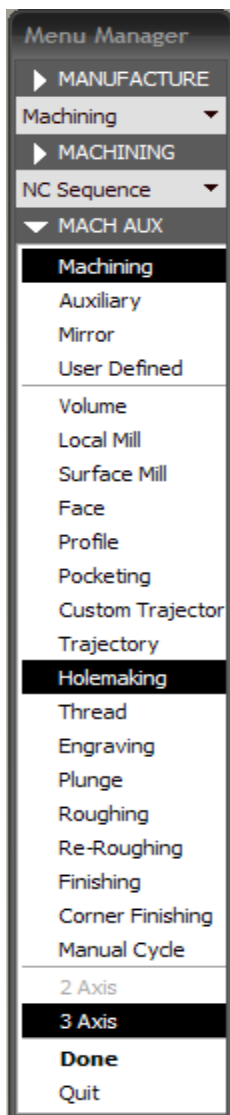
- Cut feed
- Clear dist
- Scan type: Η παράμετρος αυτή καθορίζει τη σειρά με την οποία θα γίνουν οι οπές. Οι επιλογές είναι:
  - *Type 1*, στην οποία το κοπτικό σκανάρει την επιφάνεια του αντικειμένου, αυξάνοντας το Y και εναλλάσσοντας το X
  - *Type spiral*, στην οποία το κοπτικό εκτελεί δεξιόστροφη σπειροειδή κίνηση, αρχίζοντας από την πλησιέστερη οπή στο σύστημα συντεταγμένων.
  - *Type one dir*, στην οποία το κοπτικό σκανάρει την επιφάνεια του αντικειμένου, αυξάνοντας το X και μειώνοντας το Y.
  - *Pick order*, στην οποία το κοπτικό δημιουργεί οπές με την σειρά που έχει ορίσει ο χρήστης.
  - *Shortest*, στην οποία το κοπτικό δημιουργεί οπές με τέτοια σειρά ώστε να διανύει την μικρότερη δυνατή διαδρομή.
- Breakout distance: καθορίζει την απόσταση που πρέπει να διανύσει το κοπτικό, ώστε να έχουμε μια ικανοποιητική οπή. Εξαρτάται από την κωνικότητα του κοπτικού.

- ➔ Rapto dist: καθορίζει την απόσταση επιστροφής και επιτρέπει την κίνηση του κοπτικού με ταχεία πρόωση ακόμα και κάτω από την απόσταση ασφαλείας (clear dist).
- ➔ Spindle speed

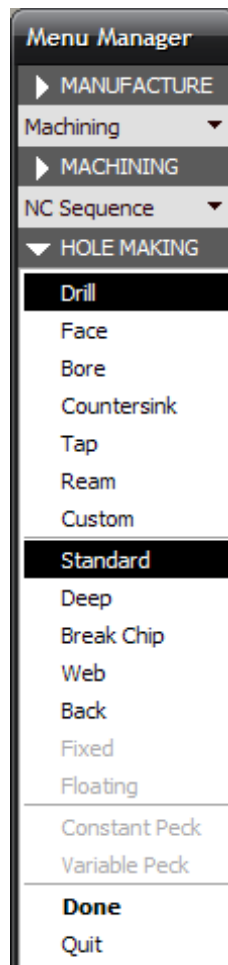
### Δημιουργία της ακολουθίας κατεργασίας διάτρησης

Θα δημιουργήσουμε δύο κλασσικές οπές διαφορετικών διαμέτρων, μια με διάμετρο 8mm και μια με διάμετρο 9mm.

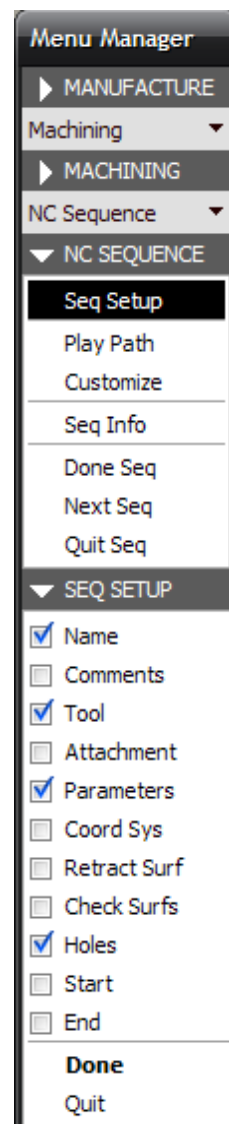
Για να δημιουργήσουμε μια ακολουθία διάτρησης επιλέγουμε Machining → NC Sequence → New Sequence → Holemaking → Done (Εικόνα III.8.27), και στο επόμενο μενού που μας εμφανίζεται επιλέγουμε το Drill και Standard (Εικόνα III.8.28) και επιλέγουμε Done και στο επόμενο μενού που μας εμφανίζεται φροντίζουμε να είναι επιλεγμένα τα: Name, Tool, Parameters και Holes (Εικόνα III.8.29) και επιλέγουμε Done.



Εικόνα III.8.27



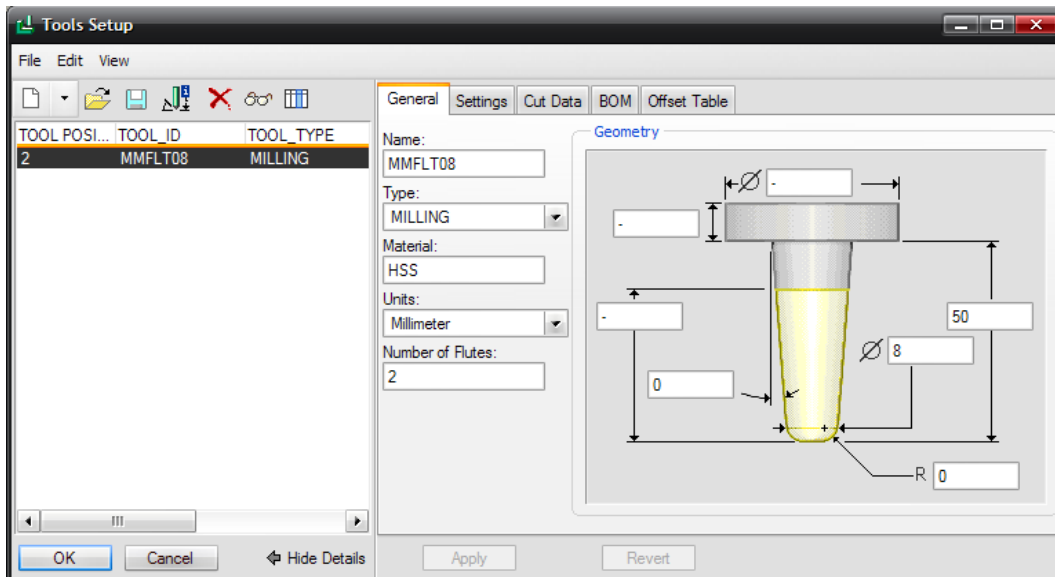
Εικόνα III.8.28



Εικόνα III.8.29

Στη συνέχεια εισάγουμε το όνομα της ακολουθίας (Hole 1) για την οπή διαμέτρου 8mm και πατάμε Enter.

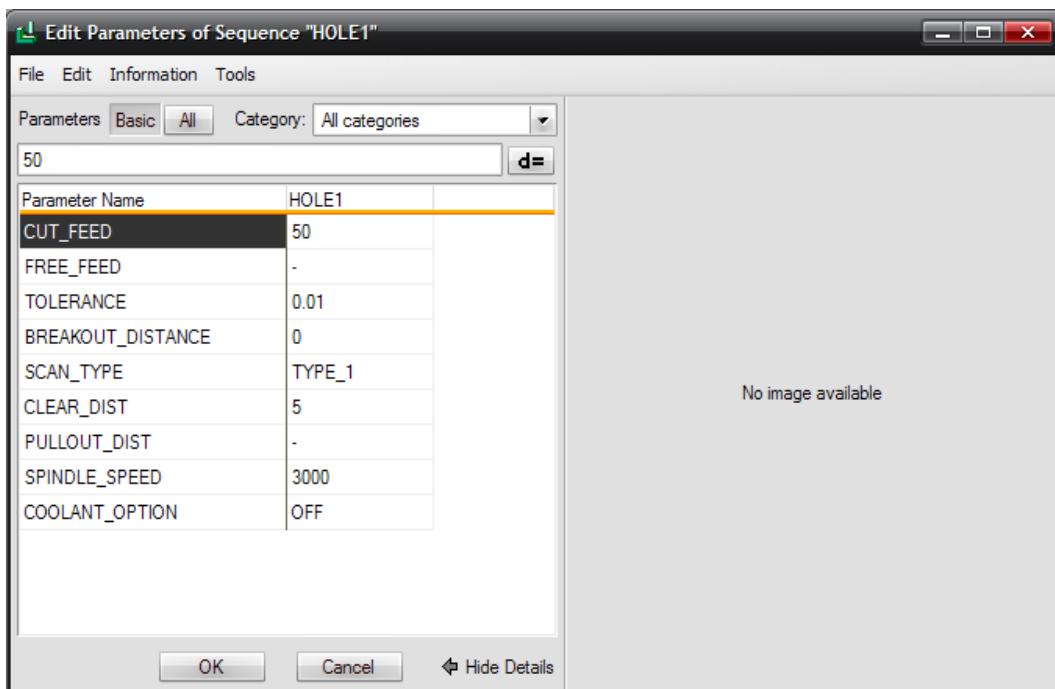
Από την βιβλιοθήκη κοπτικών επιλέγουμε το κοπτικό, όπως φαίνεται στην *Εικόνα III.8.30*:



Εικόνα III.8.30

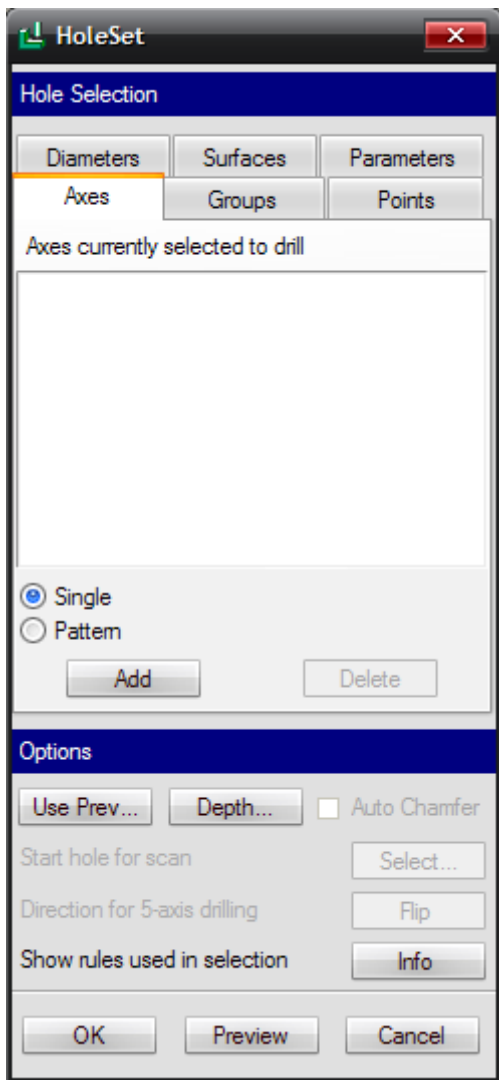
Στη συνέχεια εισάγουμε τις παραμέτρους με έναν από τους τρόπους που έχουμε αναφέρει και επιλέγουμε OK.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι για την ακολουθία Hole 1 (*Εικόνα III.8.31*).



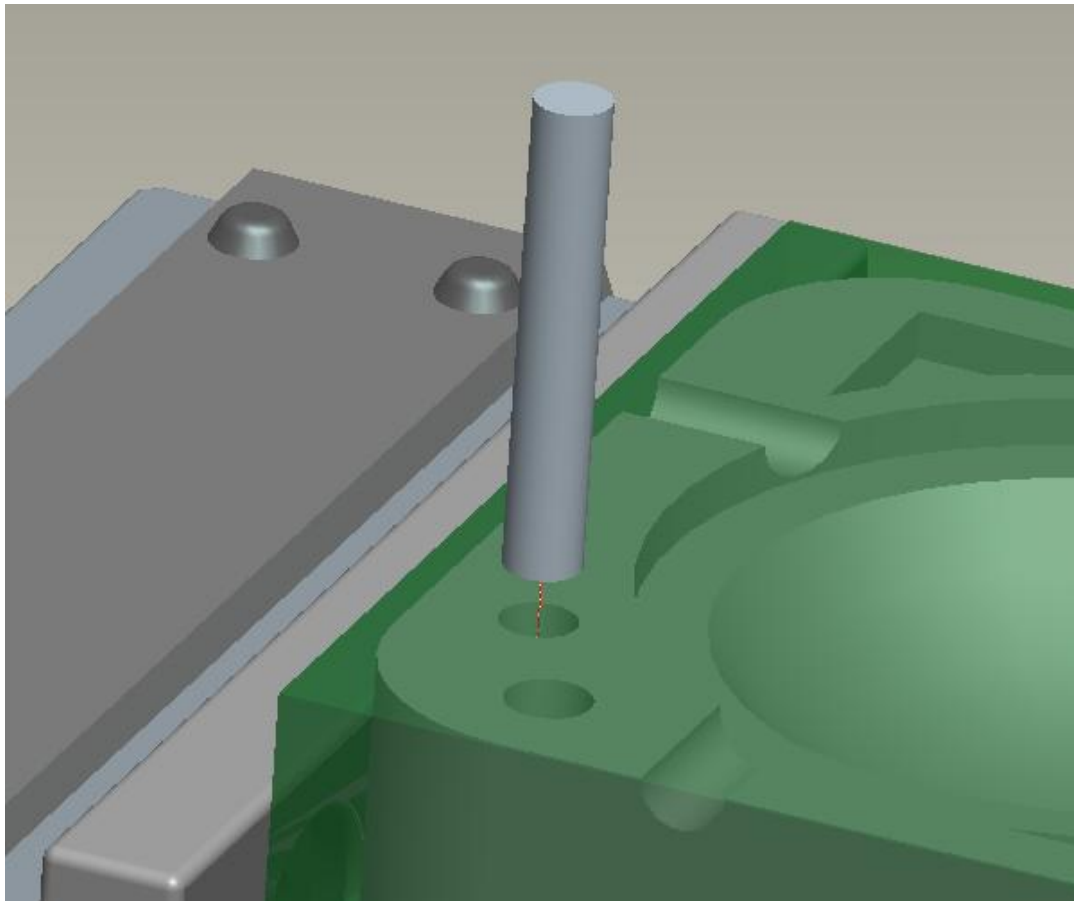
Εικόνα III.8.31

Στη συνέχεια, στο παράθυρο που εμφανίζεται (*Εικόνα III.8.32*) εισάγουμε τον άξονα της οπής που θα δημιουργήσουμε. Στο παράθυρο, λοιπόν, αυτό επιλέγουμε Single και Add και επιλέγουμε τον επιθυμητό άξονα και OK και στη συνέχεια Done.



*Εικόνα III.8.32*

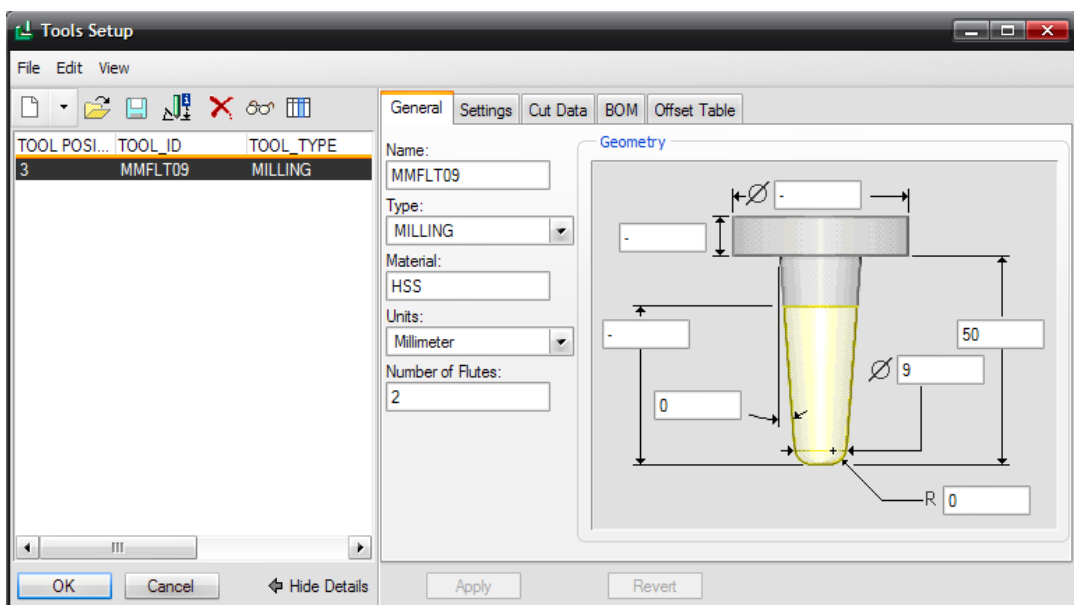
Στη συνέχεια θέλουμε να ελέγξουμε την κίνηση του κοπτικού. Στο μενού που μας εμφανίζεται επιλέγουμε Play path και screen play. Επιλέγουμε Play και βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) (*Εικόνα III.8.33*).



Εικόνα ΙΙΙ.8.33

Συνεχίζουμε με τον ίδιο τρόπο την δημιουργία οπής διαμέτρου 9mm. Εισάγουμε το όνομα της ακολουθίας (Hole 2) και πατάμε Enter.

Από την βιβλιοθήκη κοπτικών επιλέγουμε το κοπτικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα ΙΙΙ.8.34:

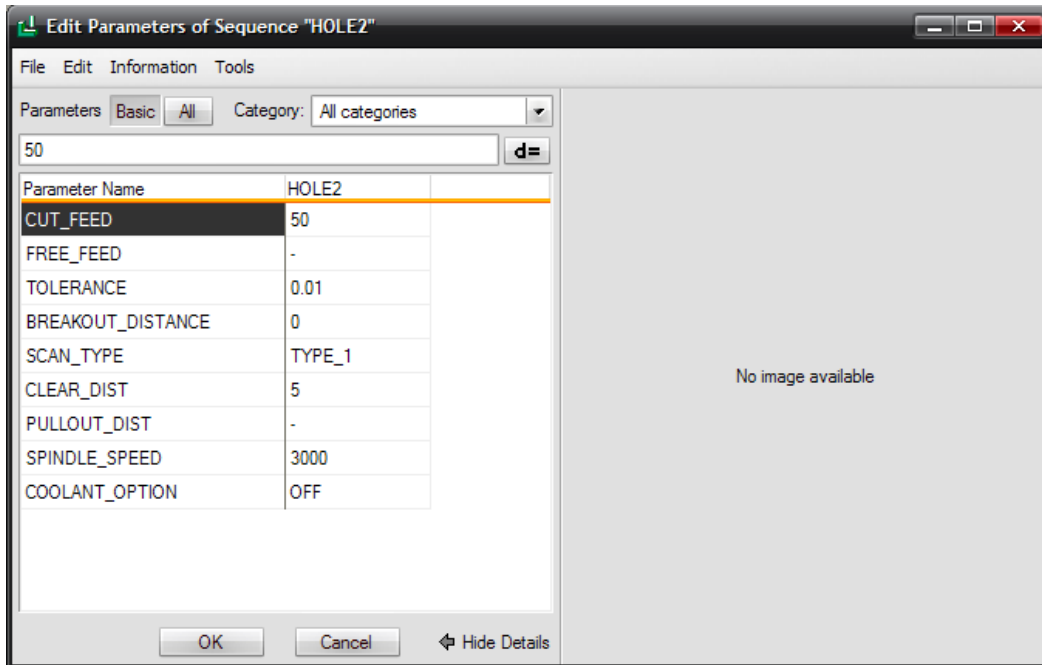


Εικόνα ΙΙΙ.8.34



Στη συνέχεια εισάγουμε τις παραμέτρους με έναν από τους τρόπους που έχουμε αναφέρει και επιλέγουμε OK.

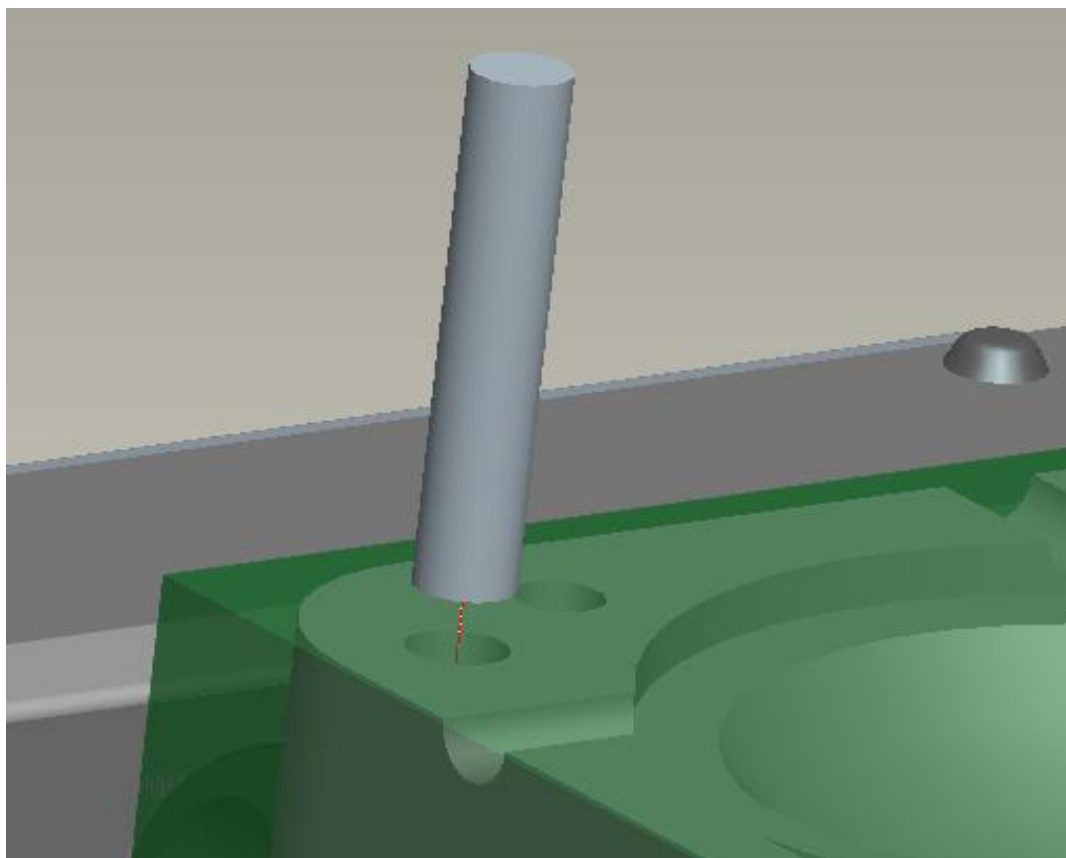
Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι για την ακολουθία Hole 2 (Εικόνα ΙΙΙ.8.35).



Εικόνα ΙΙΙ.8.35

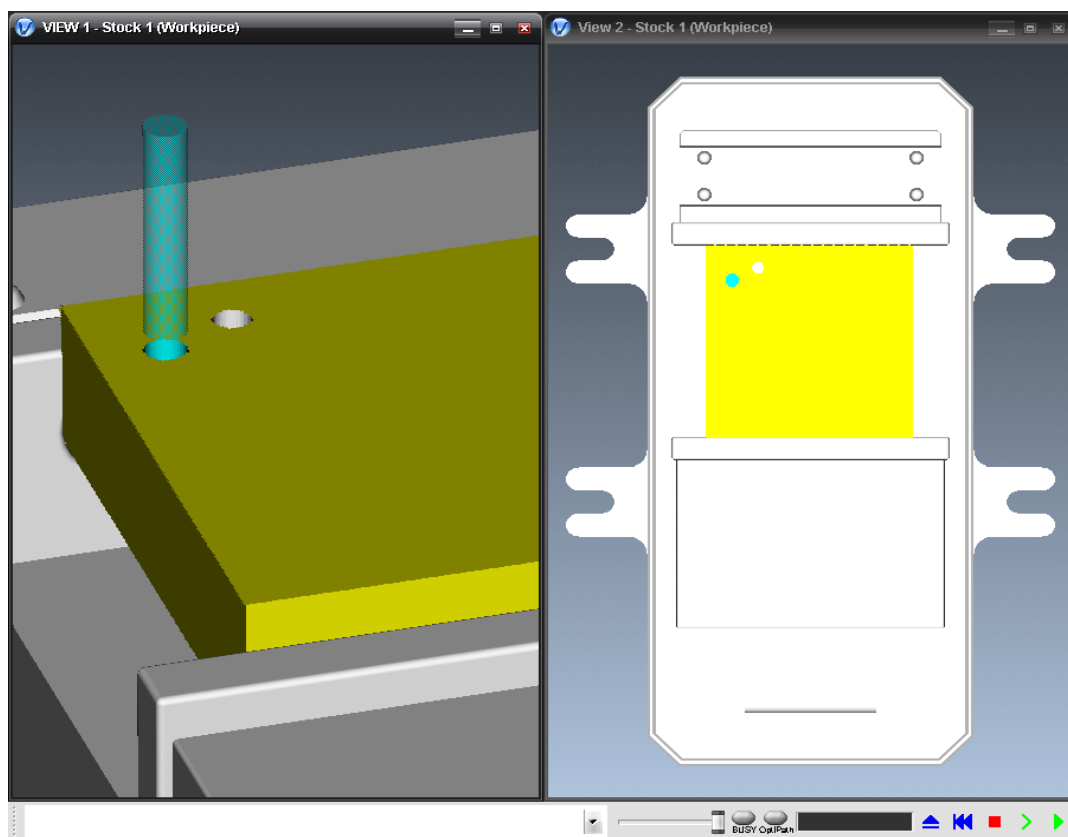
Στη συνέχεια, επιλέγουμε τον άξονα της οπής που θέλουμε να δημιουργήσουμε και επιλέγουμε OK και στη συνέχεια Done.

Επιλέγοντας Play path και screen play και μετά Play βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) (Εικόνα ΙΙΙ.8.36).



Εικόνα ΙΙΙ.8.36

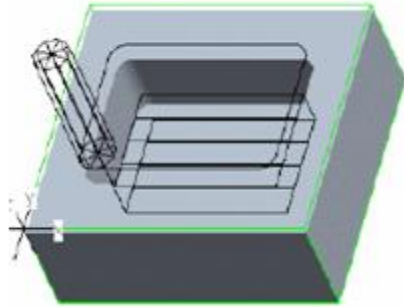
Στην Εικόνα ΙΙΙ.8.37 βλέπουμε την προσομοίωση και των 2 οπών στο πρόγραμμα Vericut.



Εικόνα ΙΙΙ.8.37

#### iv. Ακολουθία κατεργασίας όγκου (Volume)

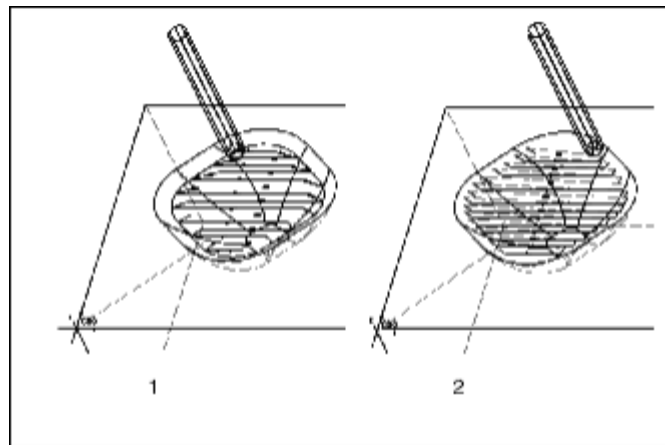
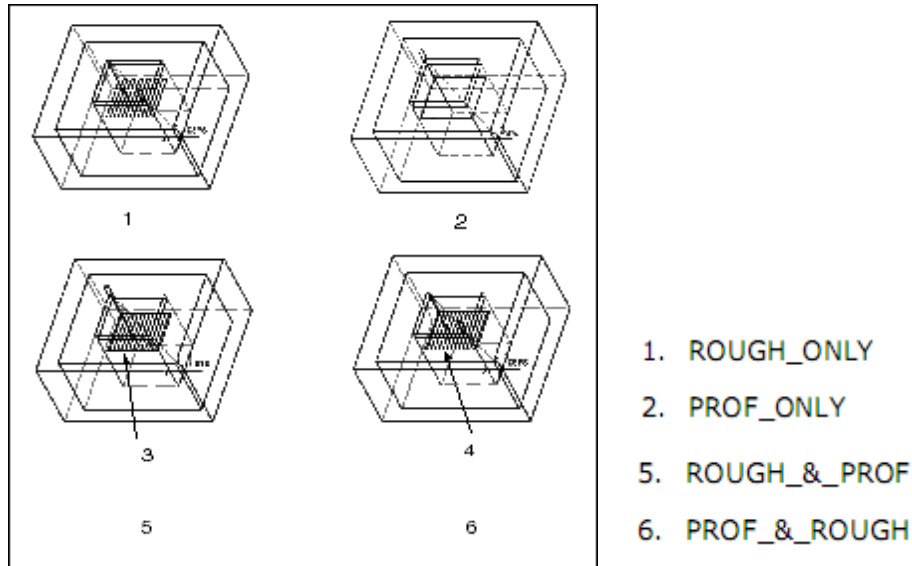
Με την ακολουθία κατεργασίας όγκου μπορούμε να κατεργαστούμε ένα μεγάλο κομμάτι στο αντικείμενό μας (Εικόνα ΙΙΙ.8.38), αφού μπορούμε να δημιουργήσουμε ακολουθίες εκχόνδρισης που αφαιρούν μεγάλο μέρος του προς κατεργασία όγκου, με σχετικά εύκολο τρόπο, παράλληλα πάντα προς την επιφάνεια επιστροφής.



Εικόνα ΙΙΙ.8.38

Οι βασικές παράμετροι στην ακολουθία κατεργασίας όγκου είναι:

- Cut feed
- Step depth
- Step over
- Clear dist
- Cut angle
- Bottom stock allow
- Spindle speed
- Rough option: αναφέρεται στην επιλογή του είδους της κατεργασίας, δηλαδή τι κατεργασίες θα γίνουν και με ποια σειρά. Οι επιλογές είναι:
  - *Rough only*, στην οποία το κοπτικό κάνει εκχόνδριση του όγκου και όχι αποπεράτωση των επιφανειών.
  - *Rough & prof*, στην οποία το κοπτικό κάνει εκχόνδριση και στη συνέχεια αποπεράτωση των επιφανειών που σχηματίζουν τον όγκο.
  - *Prof & rough*, στην οποία το κοπτικό κάνει αποπεράτωση των επιφανειών που σχηματίζουν τον όγκο και στη συνέχεια εκχόνδριση του όγκου.
  - *Prof only*, στην οποία το κοπτικό κάνει μόνο αποπεράτωση των επιφανειών που σχηματίζουν τον όγκο.
  - *Rough & clean up*, στην οποία το κοπτικό προετοιμάζει τα τοιχώματα του όγκου χωρίς να κάνει αποπεράτωση των επιφανειών.
  - *Pocketing*, στην οποία το κοπτικό κάνει αποπεράτωση των επιφανειών που σχηματίζουν τον όγκο και στη συνέχεια αποπεράτωση των επιφανειών που είναι παράλληλες στο επίπεδο επιστροφής.
  - *Faces only*, στην οποία το κοπτικό κάνει αποπεράτωση των επιφανειών που είναι παράλληλες στο επίπεδο επιστροφής.



➡ Scan type: είναι η τακτική κατεργασίας και ελέγχει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό πάνω στην ακατέργαστη επιφάνεια. Οι επιλογές που μπορεί να πάρει είναι:

- *Type 1*: στην οποία το κοπτικό κατεργάζεται συνεχώς τον όγκο και ανασύρεται σε τυχόν νησίδες που δεν πρέπει να κατεργαστούν.
- *Type 2*: στην οποία το κοπτικό κατεργάζεται συνεχώς τον όγκο, χωρίς να ανασύρεται, και κινείται γύρω από νησίδες που δεν πρέπει να κατεργαστούν.
- *Type 3*: στην οποία το κοπτικό κατεργάζεται τον όγκο σε συνεχείς ζώνες που έχουν καθοριστεί από τις νησίδες που δεν πρέπει να κατεργαστούν.
- *Type spiral*: στην οποία το κοπτικό ακολουθεί σπειροειδή τροχιά
- *Type one dir*: στην οποία το κοπτικό κατεργάζεται μόνο στην κίνηση κατά τη μια φορά και απομακρύνεται μεταξύ των διαδοχικών περασμάτων.
- *Type 1 connect*: στην οποία το κοπτικό κατεργάζεται μόνο στην κίνηση κατά

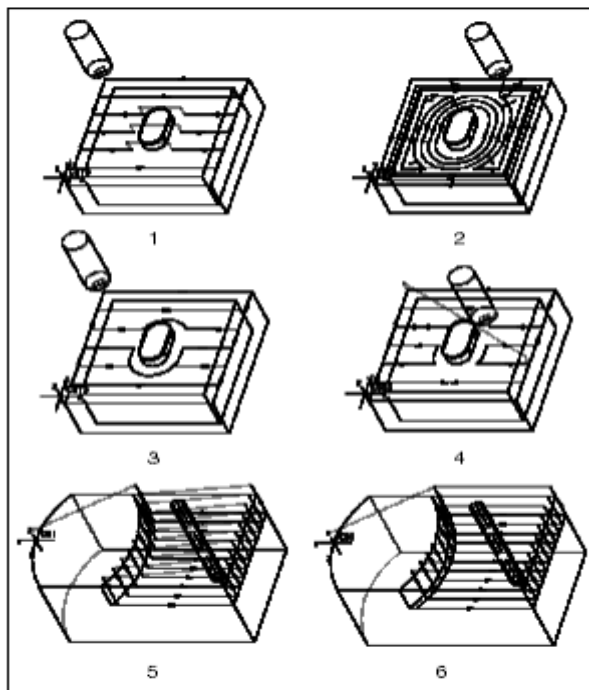
τη μια φορά, και εάν στην αρχή του κάθε περάσματος συναντήσει κομμάτι που δεν πρέπει να κατεργαστεί, ακολουθεί τον τοίχο.

- *Constant load*: στην οποία το κοπτικό εκτελεί μια κατεργασία υψηλής ταχύτητας (high speed machining) για εκχόνδριση (με το ROUGH\_OPTION να είναι ROUGH\_ONLY) ή αποπεράτωση (με το ROUGH\_OPTION να είναι PROF\_ONLY).

- *Spiral maintain cut direction*: στην οποία το κοπτικό εκτελεί μια κατεργασία υψηλής ταχύτητας (high speed machining) ενώ ακολουθεί σπειροειδή τροχιά με σύνδεση S μεταξύ των περασμάτων.

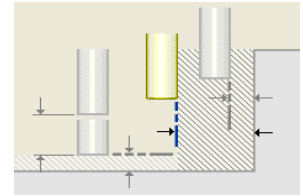
- *Spiral maintain cut type*: στην οποία το κοπτικό εκτελεί μια κατεργασία υψηλής ταχύτητας (high speed machining), ενώ ακολουθεί σπειροειδή τροχιά με τοξοειδή σύνδεση μεταξύ περασμάτων.

- *Follow hardwalls*: στην οποία το κοπτικό εκτελεί μια κατεργασία υψηλής ταχύτητας (high speed machining) ενώ το σχήμα κάθε κοπής ακολουθεί το σχήμα των τοιχωμάτων του όγκου.

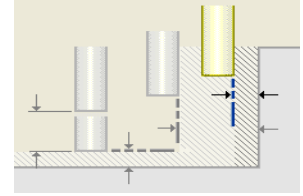


1. TYPE\_1
2. TYPE\_SPIRAL
3. TYPE\_2
4. TYPE\_3
5. TYPE\_ONE\_DIR
6. TYPE\_1\_CONNECT

- ➔ Rough stock allow: η παράμετρος αυτή αναφέρεται στο πάχος του ακατέργαστου υλικού για τα περάσματα εκχόνδρισης.



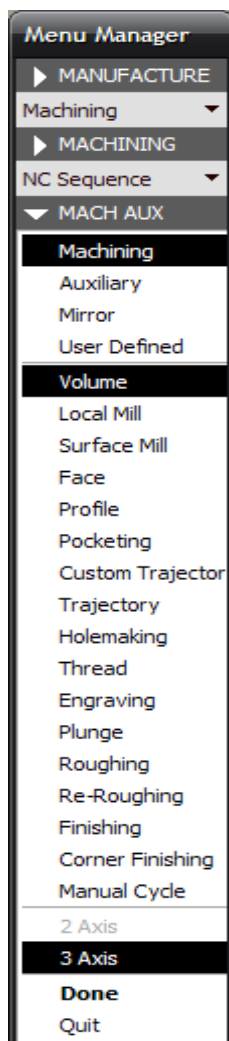
- ➔ Prof stock allow: η παράμετρος αυτή αναφέρεται στο πάχος του ακατέργαστου υλικού για τα περάσματα αποπεράτωσης.



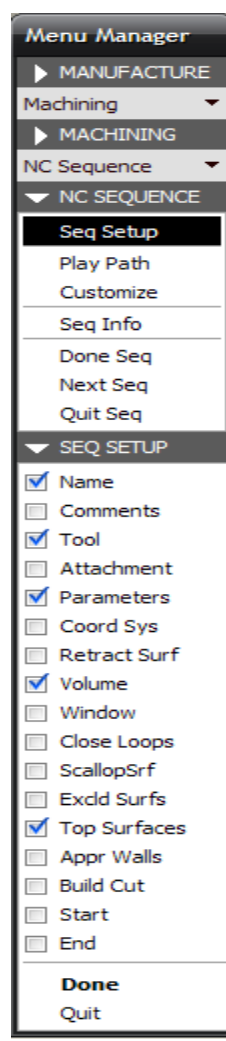
### Δημιουργία της ακολουθίας κατεργασίας όγκου

Στο αντικείμενό μας θα δημιουργήσουμε δύο ακολουθίες κατεργασίας όγκου, για εκχόνδριση και αποπεράτωση της κυκλικής εσοχής διαμέτρου 20mm και βάθους 5mm.

Για να δημιουργήσουμε μια ακολουθία κατεργασίας όγκου επιλέγουμε Machining → NC Sequence → New Sequence → Volume → Done (Εικόνα ΙΙΙ.8.38) και στο επόμενο μενού που μας εμφανίζεται φροντίζουμε να είναι επιλεγμένα τα: Name, Tool, Parameters, Volume και Top Surfaces (Εικόνα ΙΙΙ.8.39) και επιλέγουμε Done.



Εικόνα ΙΙΙ.8.38

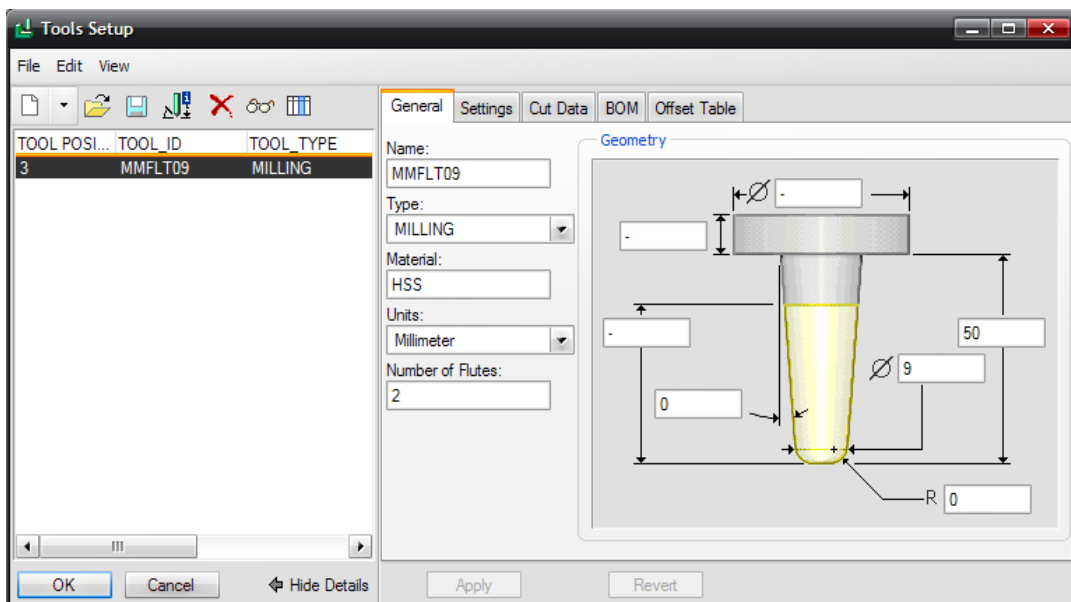


Εικόνα ΙΙΙ.8.39

Στο παράθυρο της *Εικόνας III.8.39* έχουν εμφανιστεί οι επιλογές Volume, Window, Close Loops, Excl'd Surfs, Top surfaces, Appr Walls. Από τις δύο πρώτες, η μια είναι δυνατόν να επιλεγεί και να ορίσει τον όγκο που θα κατεργαστούμε. Η επιλογή Close Loops αναφέρεται σε κλειστές επιφάνειες, η επιλογή Excl'd Surfs αναφέρεται στις επιφάνειες που θα αποκλειστούν από την αποπεράτωση, η επιλογή Top surfaces αναφέρεται στην πάνω επιφάνεια του όγκου και η επιλογή Appr Walls αναφέρεται στις δυνατές επιφάνειες από τις οποίες το κοπτικό μπορεί να προσεγγίσει τον όγκο.

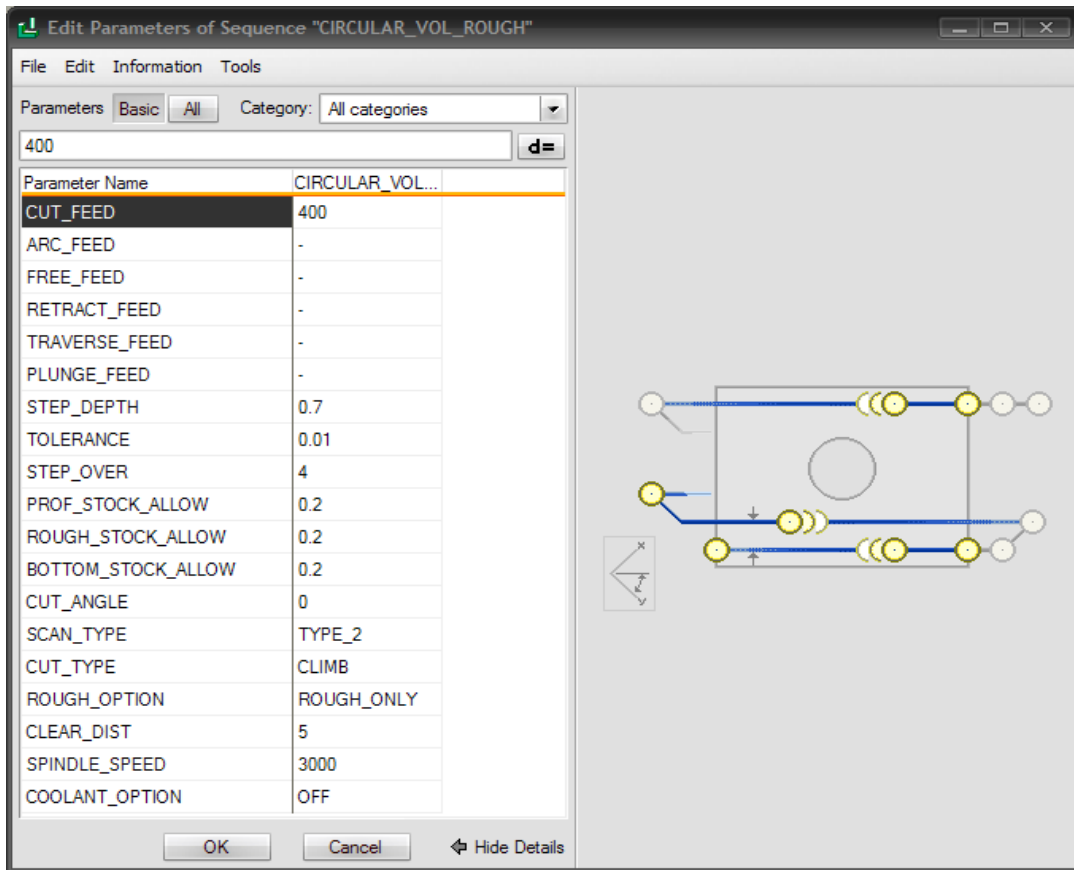
Αφού έχουμε επιλέξει τις κατάλληλες επιλογές από το Seq Setup μενού, στη συνέχεια εισάγουμε το όνομα της ακολουθίας (Circular Vol Rough) για την εκχόνδριση της κυκλικής εσοχής και πατάμε Enter.

Από την βιβλιοθήκη κοπτικών επιλέγουμε το κοπτικό, όπως φαίνεται στην *Εικόνα III.8.40*:



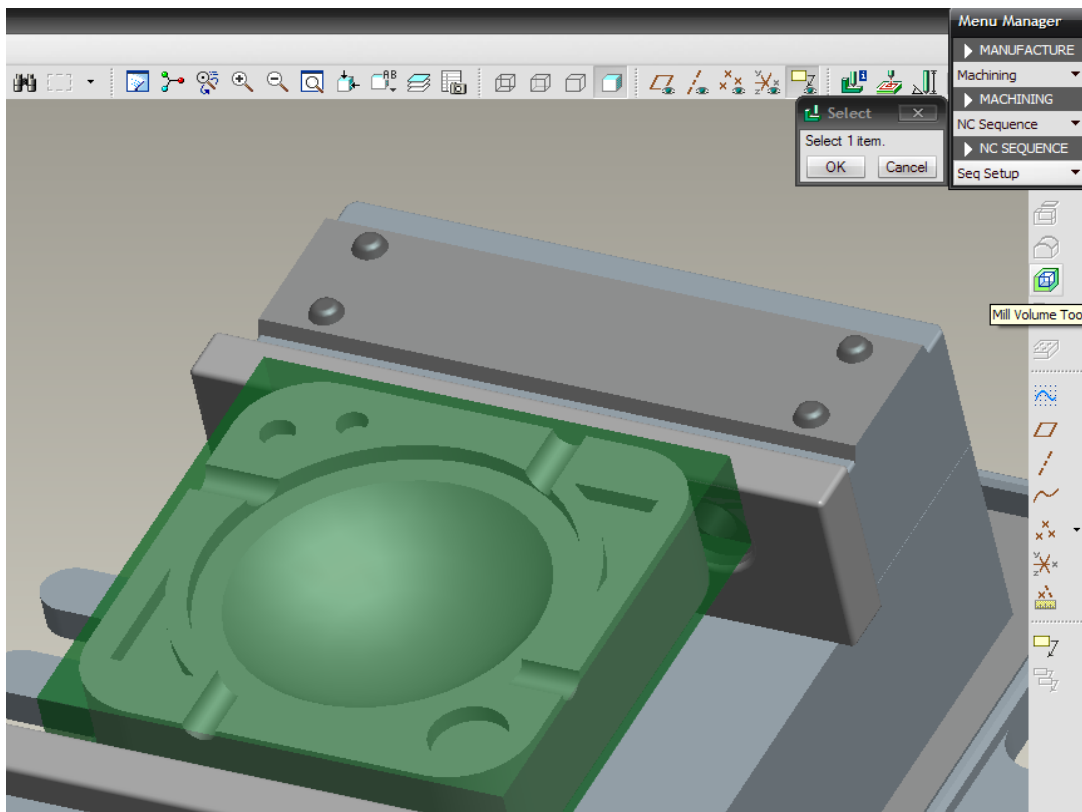
*Εικόνα III.8.40*

Στη συνέχεια εισάγουμε τις παραμέτρους και επιλέγουμε OK. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι για την ακολουθία Circular Vol Rough (*Εικόνα III.8.41*).



Εικόνα III.8.41

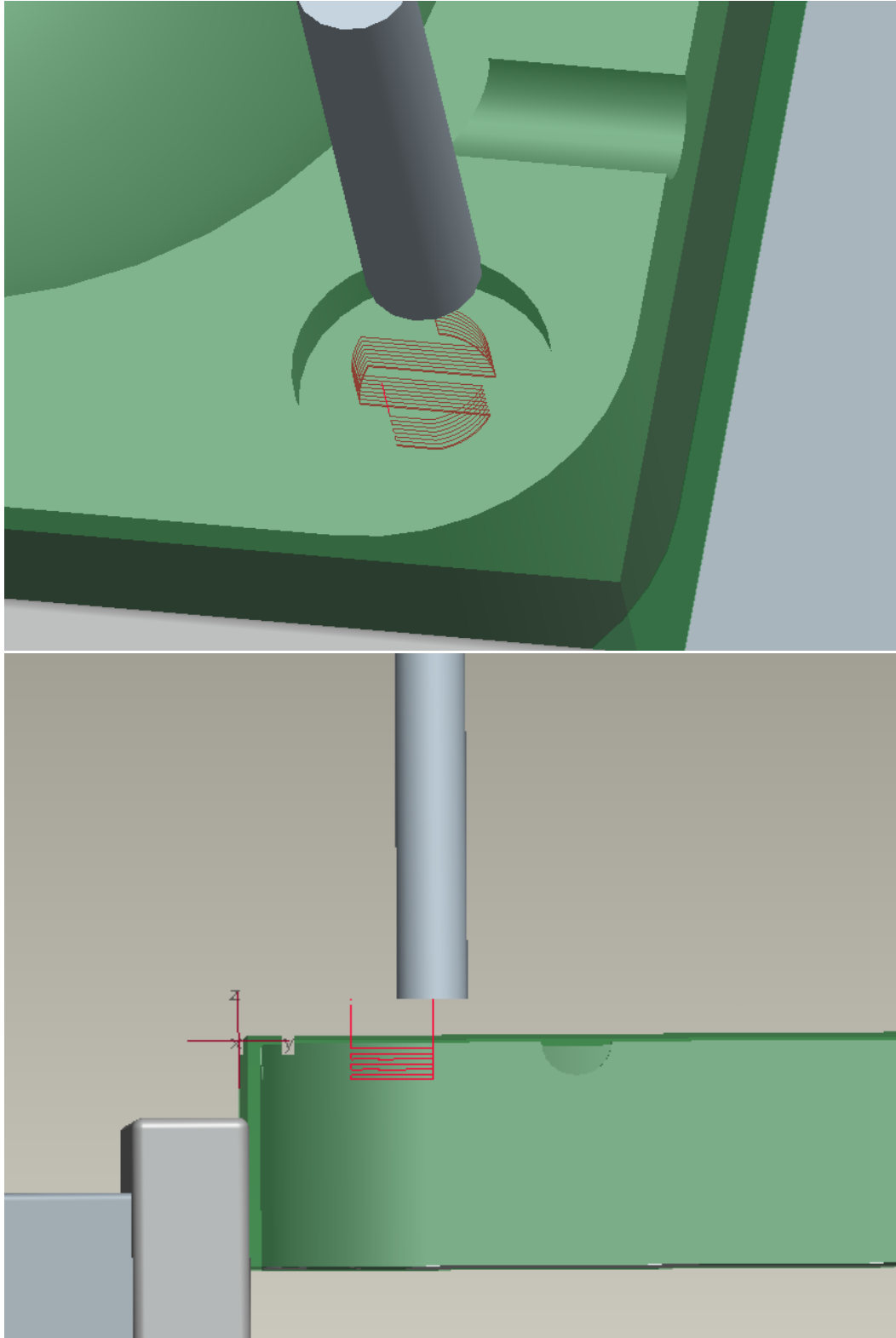
Στην συνέχεια για να ορίσουμε τον όγκο που θα κατεργαστούμε, πρέπει είτε να ορίσουμε ένα ήδη δημιουργημένο είτε να τον δημιουργήσουμε με το Mill Volume Tool, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:





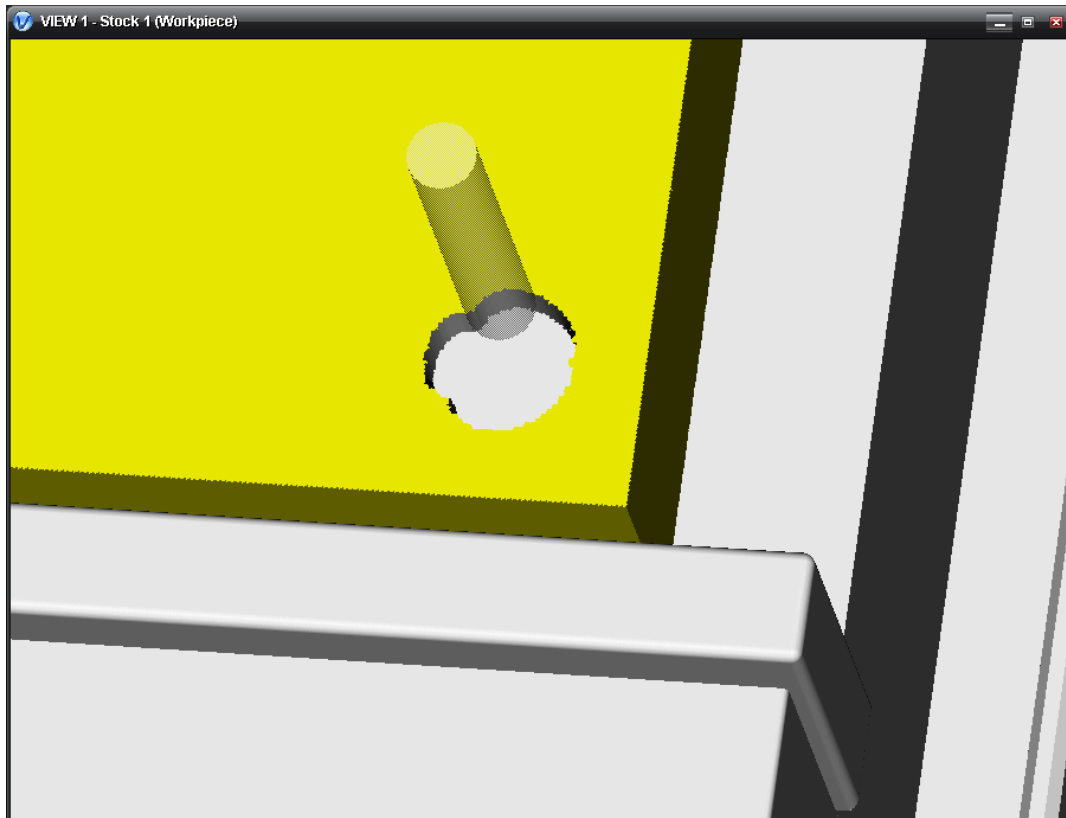
Σχεδιάζουμε λοιπόν τον όγκο στο Sketcher (έχοντας ορίσει ένα επίπεδο στην επιφάνεια του τελικού αντικειμένου) και μετά τον κάνουμε Extrude για να τον δημιουργήσουμε. Στην συνέχεια επιλέγουμε ως top surface την πάνω επιφάνεια του όγκου.

Επιλέγοντας Play path και screen play και μετά Play βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) (Εικόνες ΙΙΙ.8.42).



Εικόνες ΙΙΙ.8.42

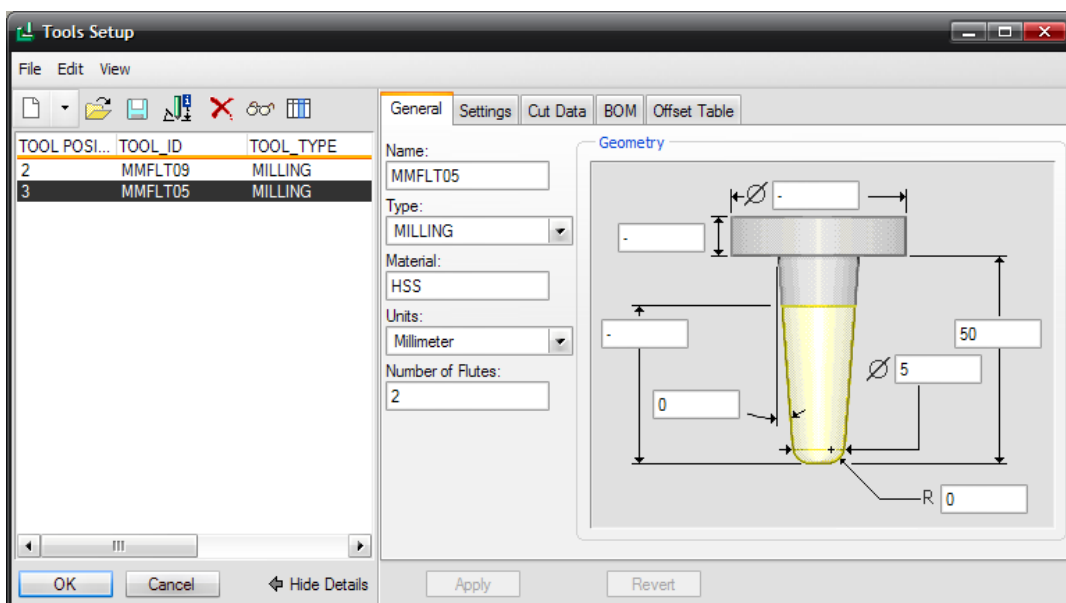
Στην συνέχεια βλέπουμε την προσομοίωση κοπής στο Vericut (*Εικόνα ΙΙΙ.8.43*).



*Εικόνα ΙΙΙ.8.43*

Για να κατεργαστούμε και το υλικό που έχει απομείνει από την εκχόνδριση, όπως φαίνεται και στην εικόνα της προσομοίωσης, θα κάνουμε αποπεράτωση της επιφάνειας. Με τον ίδιο τρόπο, εισάγουμε το όνομα (Circular Vol Finish) για την αποπεράτωση της κυκλικής εσοχής και πατάμε Enter.

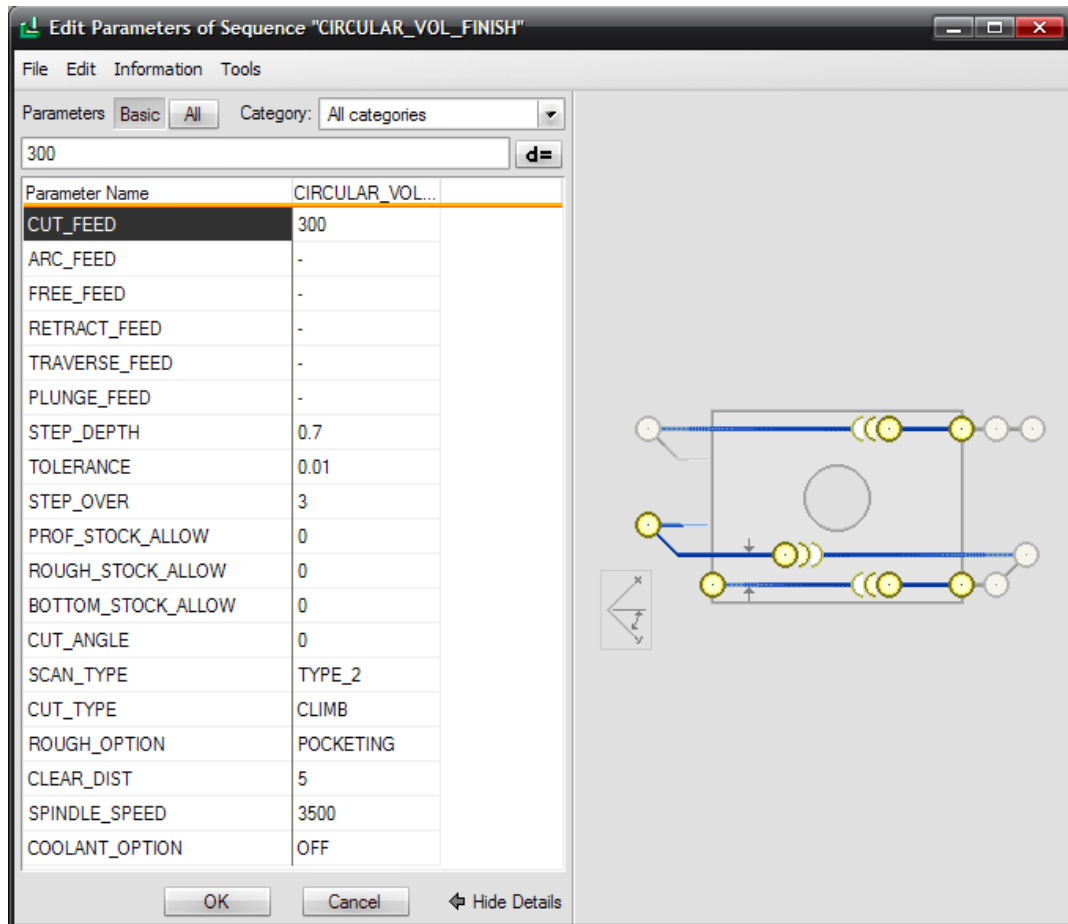
Από την βιβλιοθήκη κοπτικών επιλέγουμε το κοπτικό, όπως φαίνεται στην *Εικόνα ΙΙΙ.8.44*:



*Εικόνα ΙΙΙ.8.44*

Στη συνέχεια εισάγουμε τις παραμέτρους, ανακτώντας τις παραμέτρους της ακολουθίας

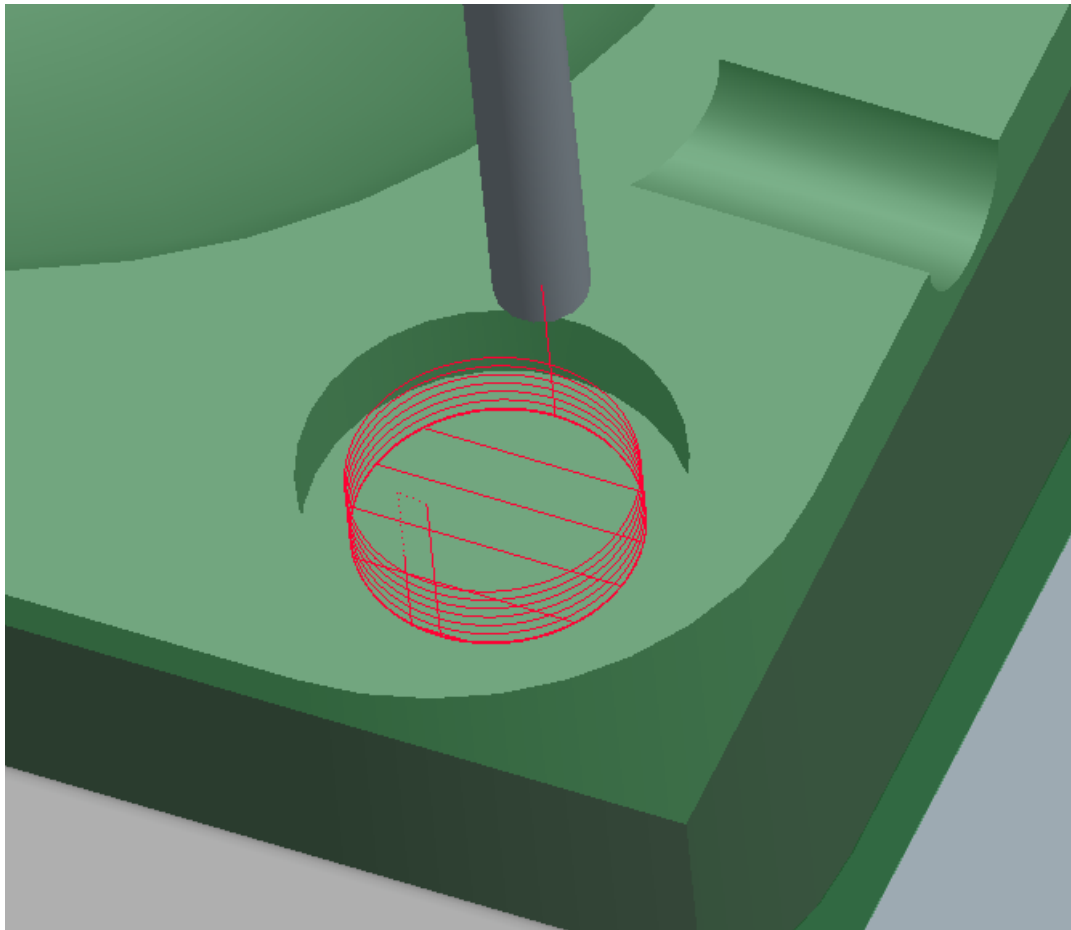
Circular Vol Rough και αλλάζοντας τις επιθυμητές και επιλέγουμε OK. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι για την ακολουθία Circular Vol Finish (Εικόνα III.8.45)



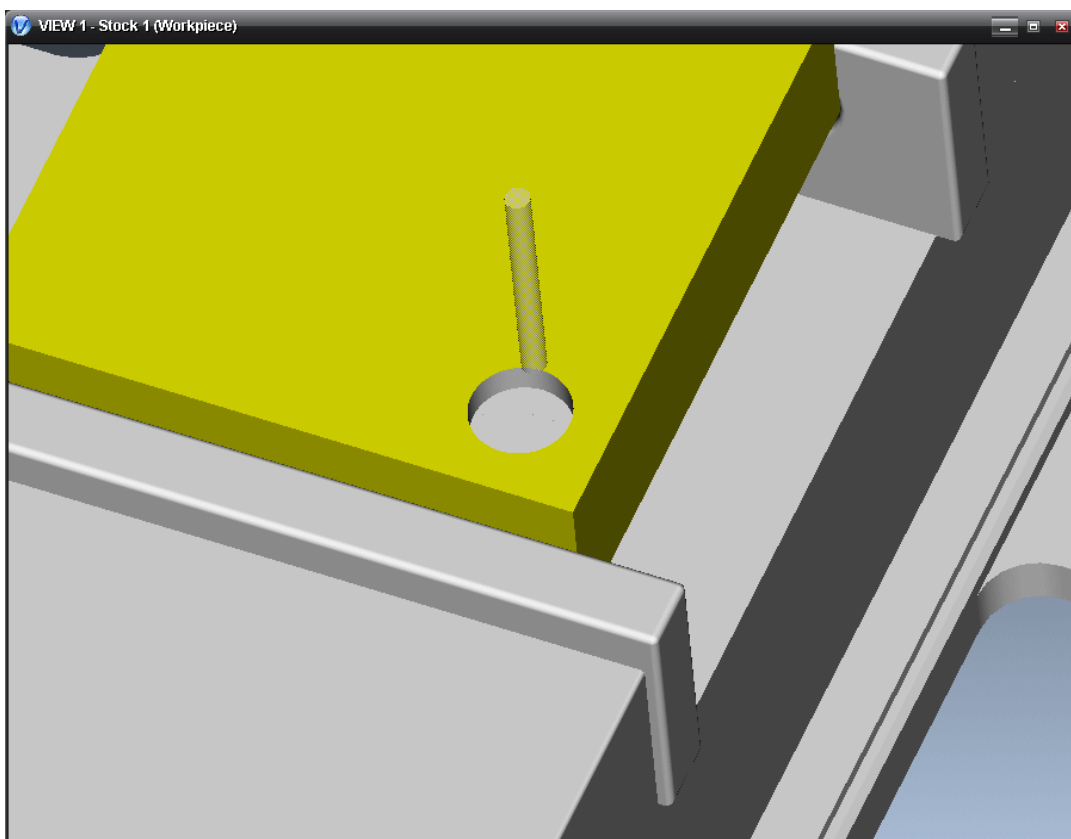
Εικόνα III.8.45

Επιλέγουμε και τον όγκο που έχουμε δημιουργήσει στην προηγούμενη ακολουθία, στην Circular Vol Rough, για να ολοκληρώσουμε την ακολουθία.

Η πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα III.8.46) και η προσομοίωση κοπής στο πρόγραμμα Vericut στην Εικόνα III.8.47.

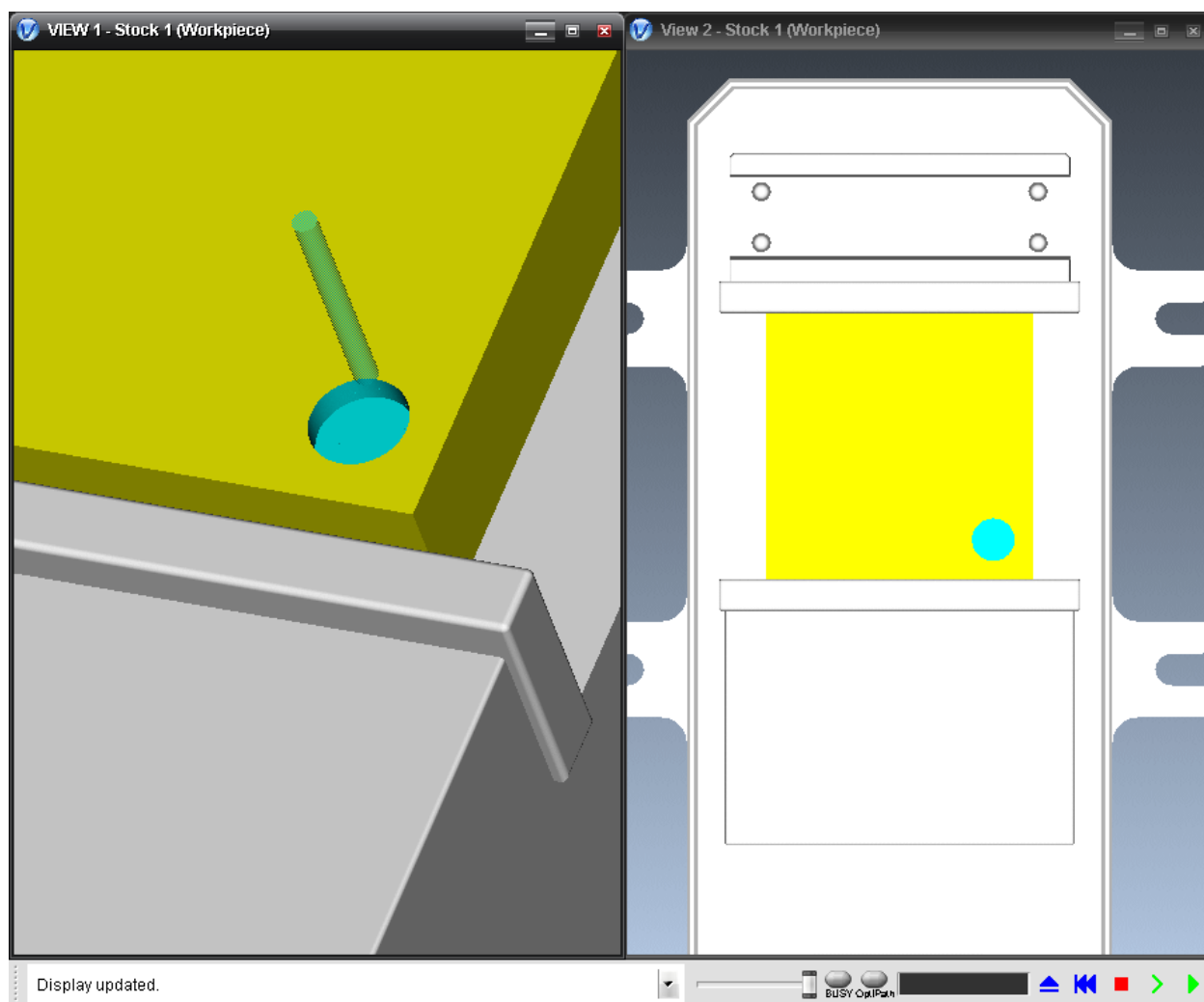


Εικόνα ΙΙΙ.8.46



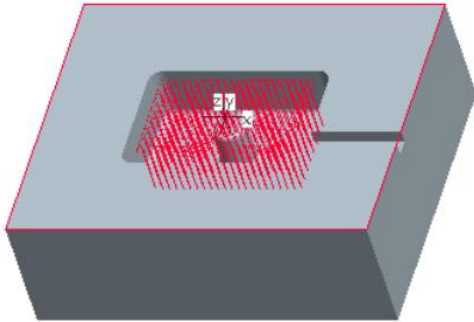
Εικόνα ΙΙΙ.8.47

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η προσομοίωση κοπής και των 2 παραπάνω ακολουθιών (εκχόνδριση και αποπεράτωση της κυκλικής εσοχής), στο πρόγραμμα Vericut.



### ν. Ακολουθία κατεργασίας βύθισης (Plunge)

Η ακολουθία κατεργασίας βύθισης χρησιμοποιείται για να γίνει εκχόνδριση κοιλοτήτων μεγάλου βάθους. Η κατεργασία αυτή γίνεται με διαδοχικά βυθίσματα του κοπτικού μέσα στον όγκο του κομματιού (Εικόνα III.8.48).



Εικόνα III.8.48

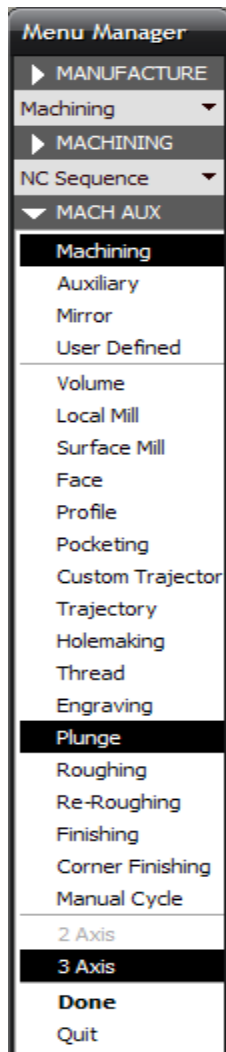
Οι βασικές παράμετροι στην ακολουθία κατεργασίας βύθισης είναι:

- Cut feed
- Clear dist
- Cut angle
- Spindle speed
- Scan type (type 3, type spiral, type one dir)
- Prof stock allow
- Chk srf stock allow
- Plunge step: η παράμετρος αυτή ορίζει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών βυθίσεων του κοπτικού εργαλείου.

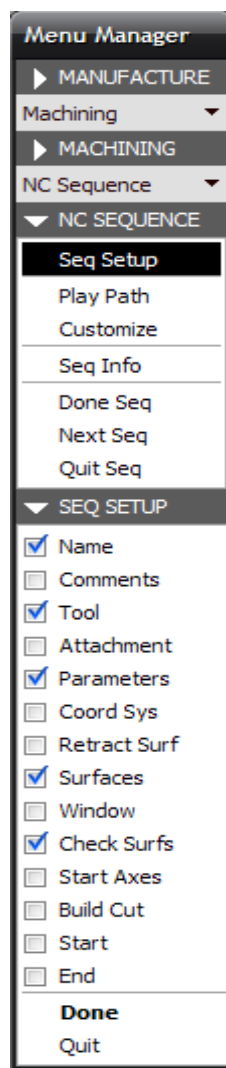
### Δημιουργία της ακολουθίας κατεργασίας βύθισης

Στο αντικείμενό μας θα δημιουργήσουμε μια ακολουθία κατεργασίας βύθισης για την εκχόνδριση των δύο τριγωνικών εσοχών.

Για να δημιουργήσουμε μια ακολουθία βύθισης επιλέγουμε Machining → NC Sequence → New Sequence → Plunge → Done (Εικόνα III.8.49) και στο επόμενο μενού που μας εμφανίζεται φροντίζουμε να είναι επιλεγμένα τα: Name, Tool, Parameters, Surfaces και Check Surfs (Εικόνα III.8.50) και επιλέγουμε Done.



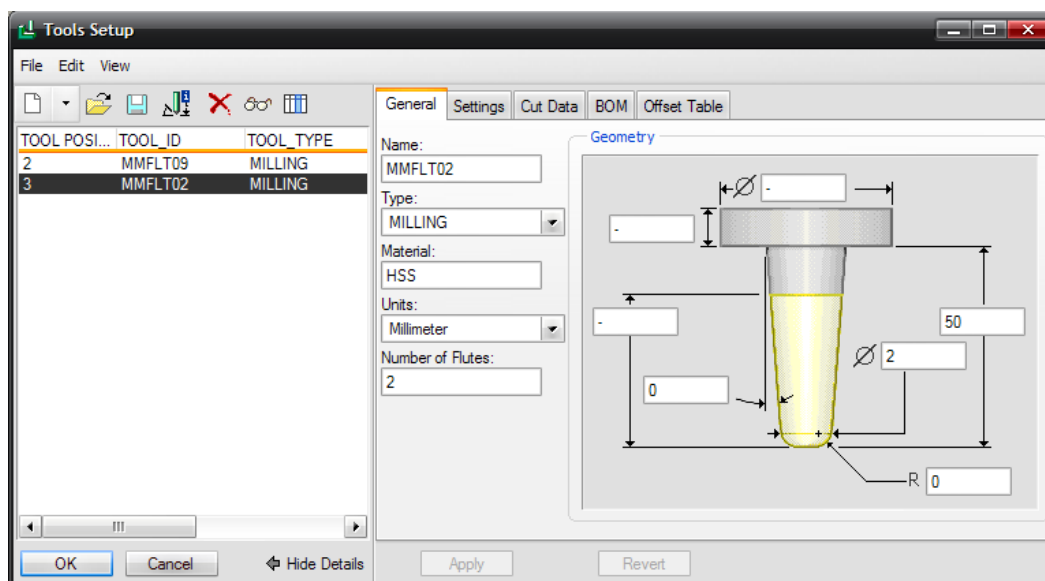
Εικόνα III.8.49



Εικόνα III.8.50

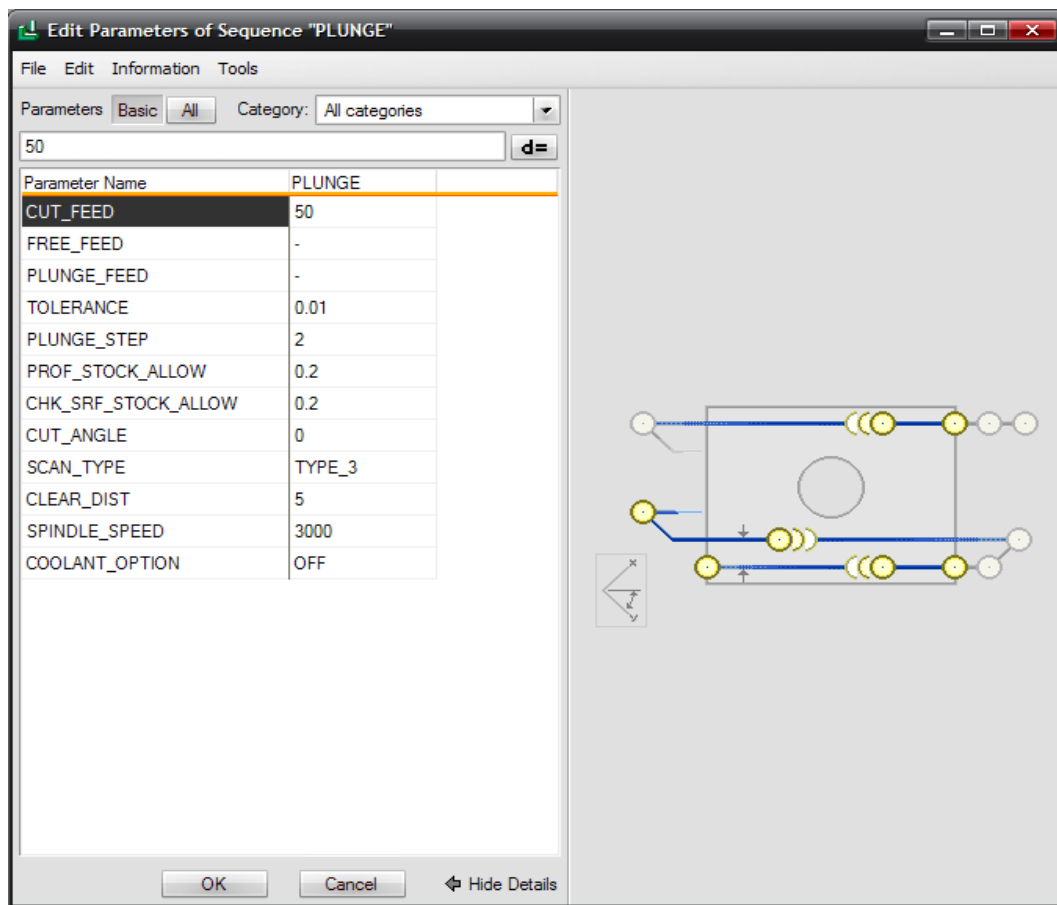
Εισάγουμε το όνομα της ακολουθίας (Plunge) και πατάμε Enter.

Από την βιβλιοθήκη κοπτικών επιλέγουμε το κοπτικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα III.8.51:



Εικόνα III.8.51

Στη συνέχεια εισάγουμε τις παραμέτρους και επιλέγουμε OK. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι για την ακολουθία Plunge (Εικόνα III.8.52).



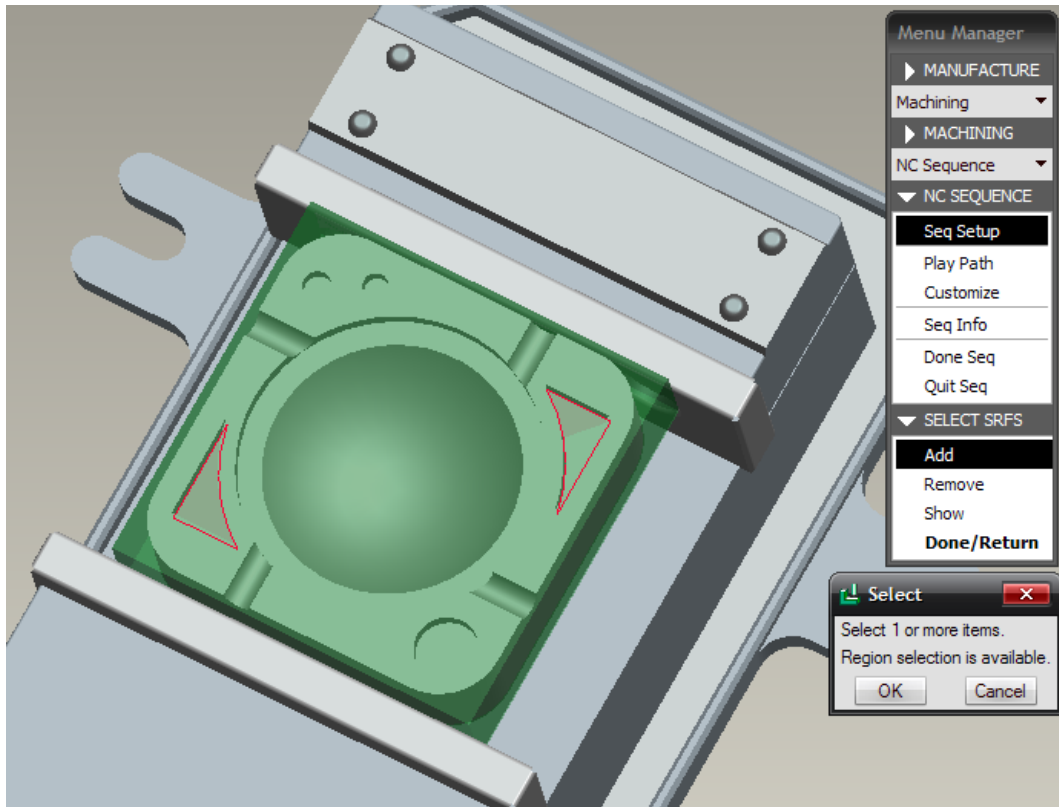
Εικόνα III.8.52

Στην συνέχεια θα επιλέξουμε τις επιφάνειες που θα κατεργαστούμε. Επιλέγουμε Model και Done





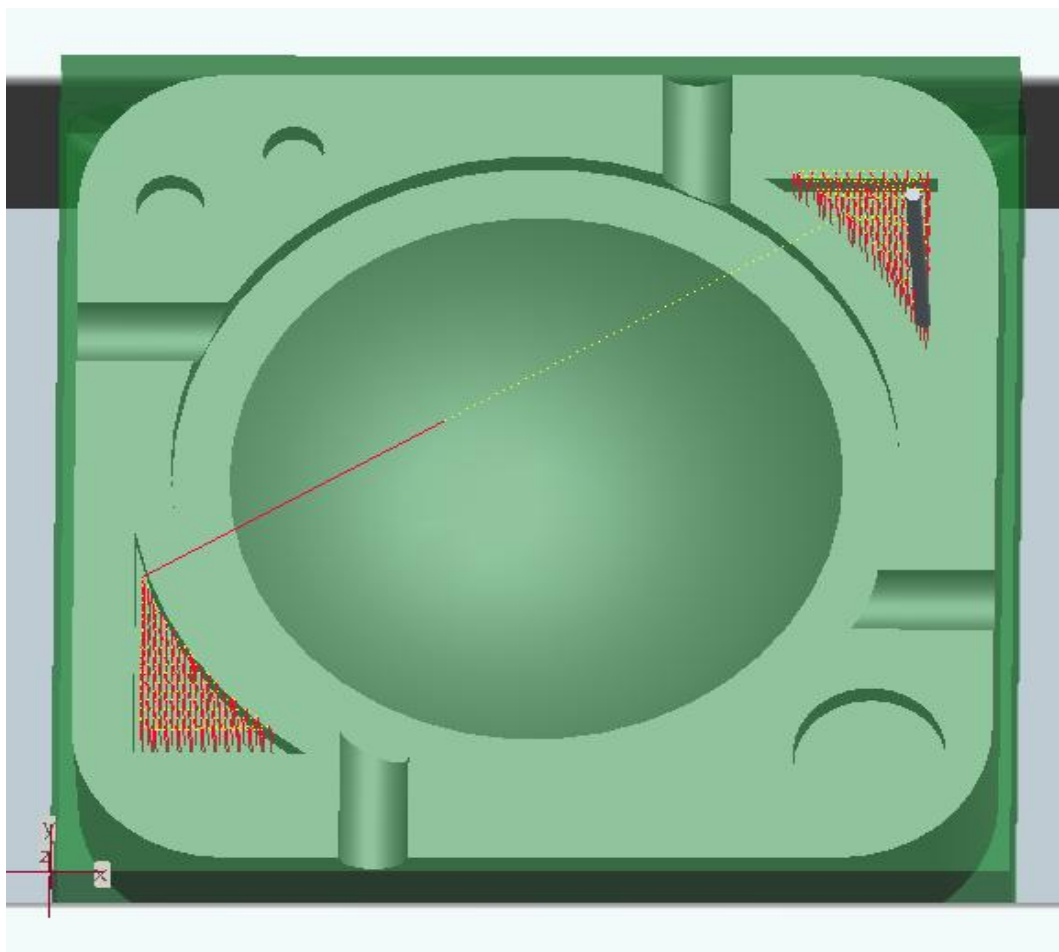
Και στο μενού που μας εμφανίζεται επιλέγουμε Add και τις επιφάνειες που θα κατεργαστούμε (Εικόνα ΙΙΙ.8.53).



Εικόνα ΙΙΙ.8.53

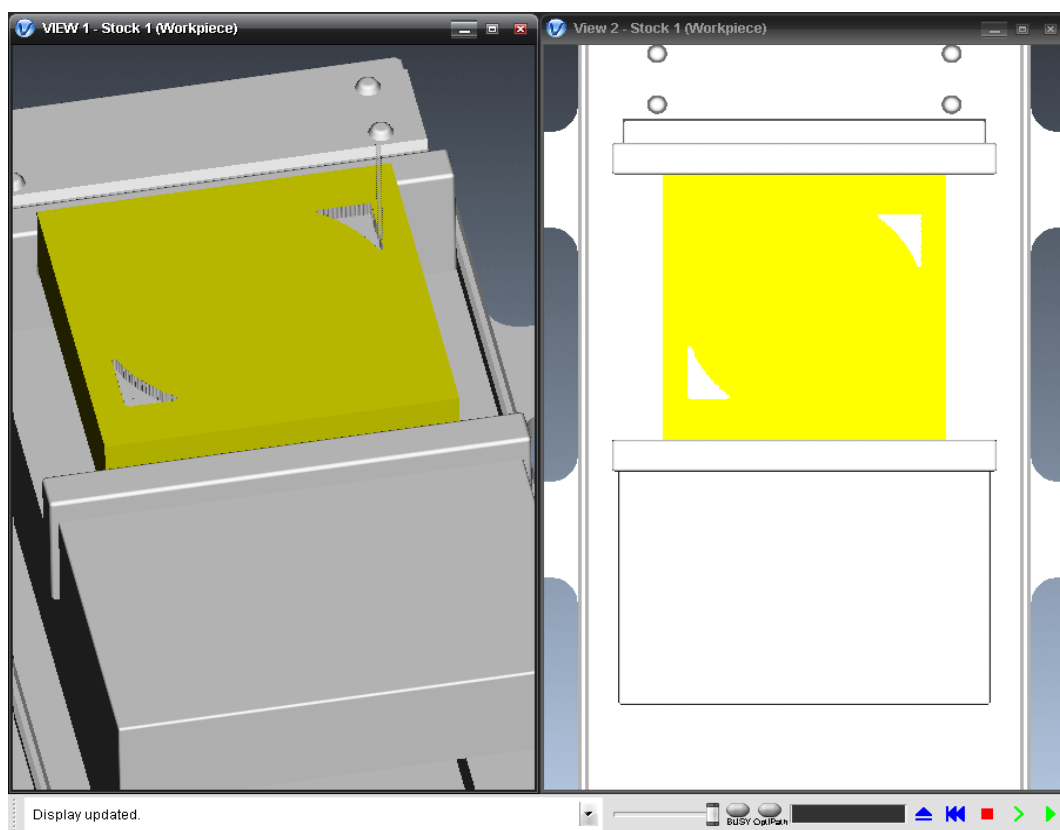
Έπειτα, μας ζητείται να ορίσουμε την επιφάνεια στην οποία θα απομείνει υλικό πάχους μετά το τέλος της κατεργασίας και έτσι επιλέγουμε τις ίδιες επιφάνειες, δηλαδή την κάτω επιφάνεια των κοιλοτήτων, για να ολοκληρώσουμε την ρύθμιση της ακολουθίας.

Επιλέγοντας Play path και screen play και μετά Play βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) (Εικόνα ΙΙΙ.8.54).



Εικόνα ΙΙΙ.8.54

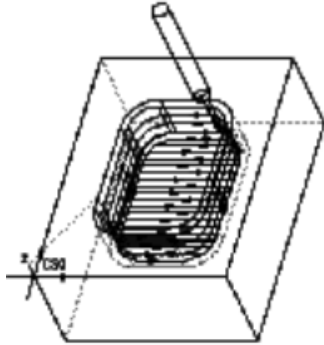
Και την προσομοίωση κοπής στο πρόγραμμα Vericut (Εικόνα ΙΙΙ.8.55).



Εικόνα ΙΙΙ.8.55

#### vi. Ακολουθία κατεργασίας κοιλότητας (Pocketing)

Η ακολουθία κατεργασίας κοιλότητας χρησιμοποιείται για να γίνει αποπεράτωση κοιλοτήτων. Με την ακολουθία αυτή, το κοπτικό εργαλείο κατεργάζεται πρώτα το προφίλ της κοιλότητας και στη συνέχεια την κάτω επιφάνειά της (Εικόνα III.8.56).



Εικόνα III.8.56

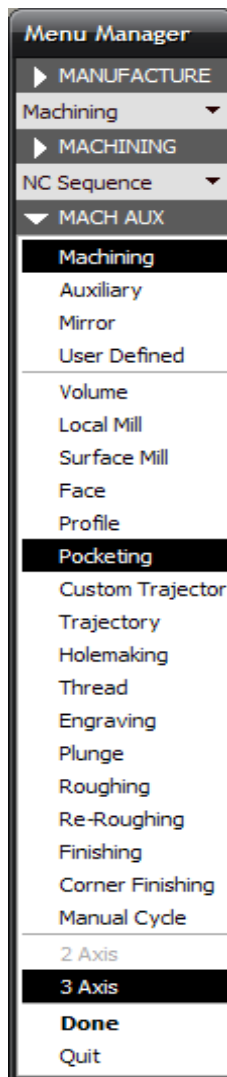
Οι βασικές παράμετροι στην ακολουθία κατεργασίας κοιλότητας είναι:

- Cut feed
- Step depth
- Step over
- Clear dist
- Cut angle
- Spindle speed
- Scan type (type 1, type 2, type 3, type spiral, type one dir)
- Prof stock allow
- Bottom stock allow
- Wall scallop hgt: η παράμετρος αυτή ελέγχει το βάθος κοπής. Συνήθως παίρνει την τιμή 0 και ως βάθος κοπής ορίζεται το Step depth. Αν πάρει μεγαλύτερη του μηδενός τιμή, τότε ορίζεται το μικρότερο από τα δύο.

#### Δημιουργία της ακολουθίας κατεργασίας κοιλότητας

Στο αντικείμενό μας θα δημιουργήσουμε μια ακολουθία κατεργασίας κοιλότητας για την αποπεράτωση των δύο τριγωνικών εσοχών.

Για να δημιουργήσουμε μια ακολουθία κοιλότητας επιλέγουμε Machining → NC Sequence → New Sequence → Pocket → Done (Εικόνα III.8.57) και στο επόμενο μενού που μας εμφανίζεται φροντίζουμε να είναι επιλεγμένα τα: Name, Tool, Parameters και Surfaces (Εικόνα III.8.58) και επιλέγουμε Done.



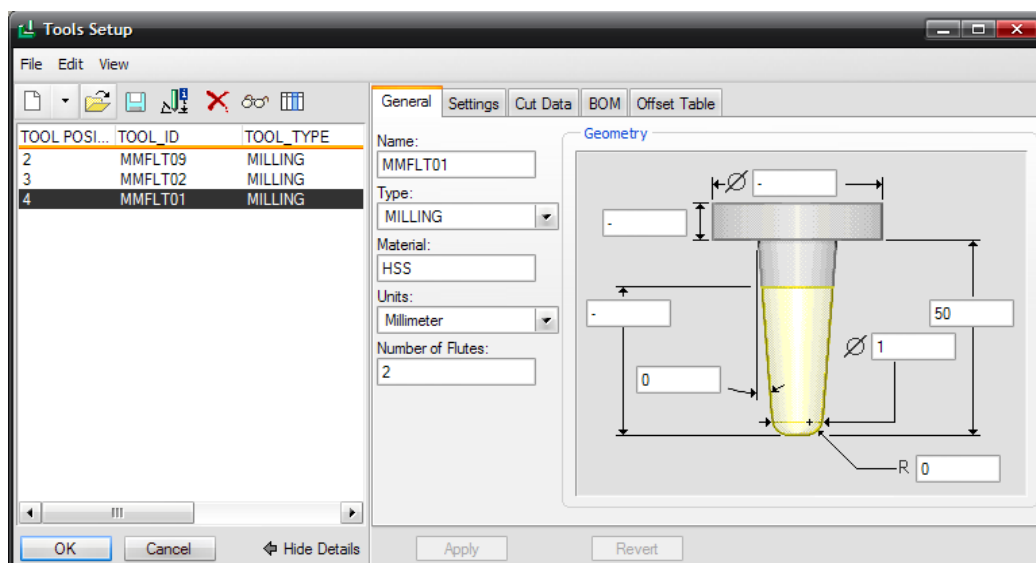
Εικόνα III.8.57



Εικόνα III.8.58

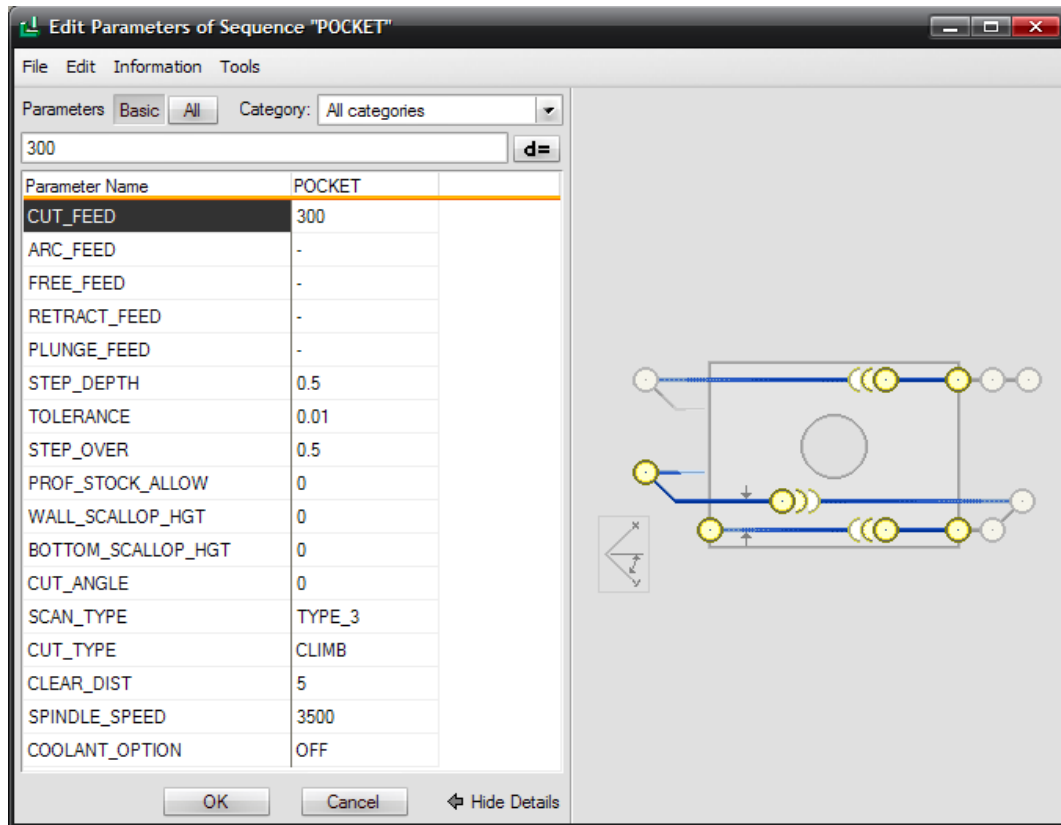
Εισάγουμε το όνομα της ακολουθίας (Pocket) και πατάμε Enter.

Από την βιβλιοθήκη κοπτικών επιλέγουμε το κοπτικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα III.8.59:



Εικόνα III.8.59

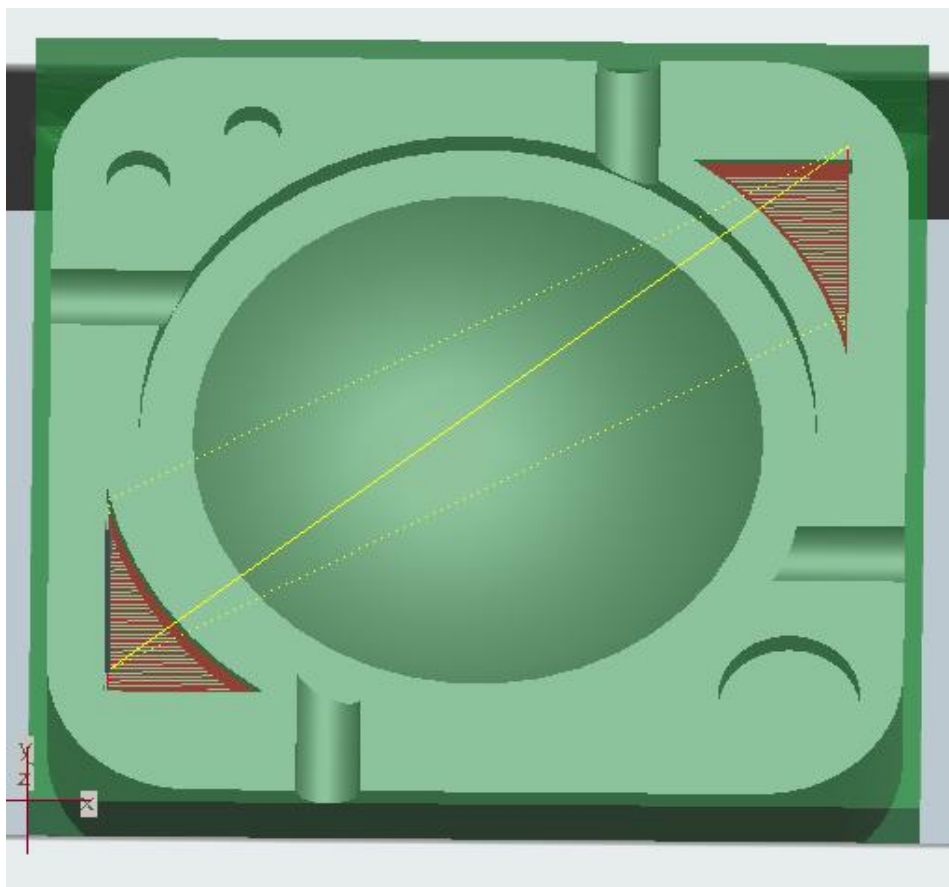
Στη συνέχεια εισάγουμε τις παραμέτρους και επιλέγουμε OK. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι για την ακολουθία Pocket (Εικόνα ΙΙΙ.8.60).



Εικόνα ΙΙΙ.8.60

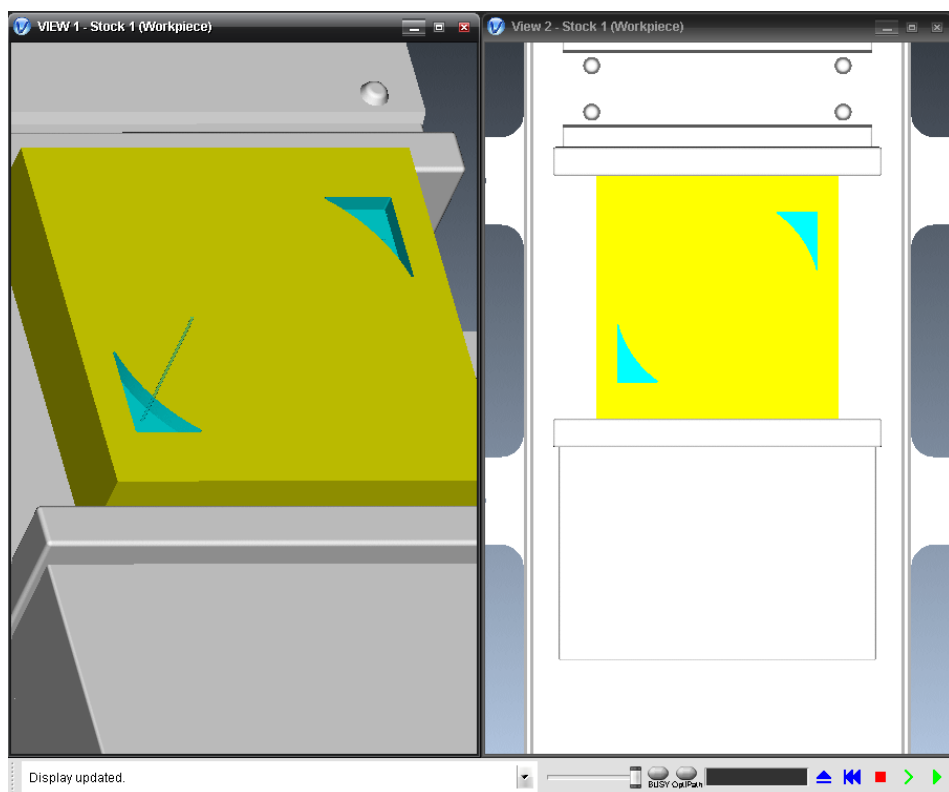
Στην συνέχεια θα επιλέξουμε τις επιφάνειες που θα κατεργαστούμε. Επιλέγουμε Model και Done, και επιλέγουμε τις 2 τριγωνικές κοιλότητες.

Επιλέγοντας Play path και screen play και μετά Play βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) (Εικόνα ΙΙΙ.8.61).



Εικόνα ΙΙΙ.8.61

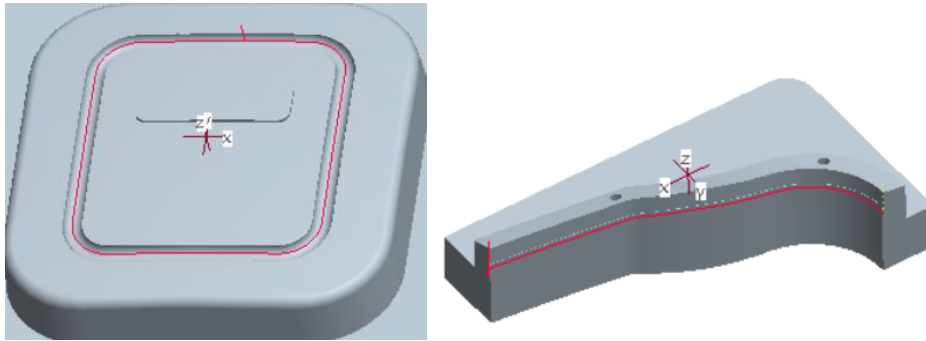
Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα ΙΙΙ.8.62) παρουσιάζεται η προσομοίωση κοπής και των 2 παραπάνω ακολουθιών (εκχόνδριση και αποπεράτωση των τριγωνικών εσοχών), στο πρόγραμμα Vericut.



Εικόνα ΙΙΙ.8.62

### vii. Ακολουθία κατεργασίας όγκου σε τροχιά (Trajectory)

Με την ακολουθία κατεργασίας όγκου σε τροχιά, το κοπτικό κατεργάζεται το υλικό του αντικειμένου, ακολουθώντας μια συγκεκριμένη τροχιά (Εικόνες III.8.63).



Εικόνες III.8.63

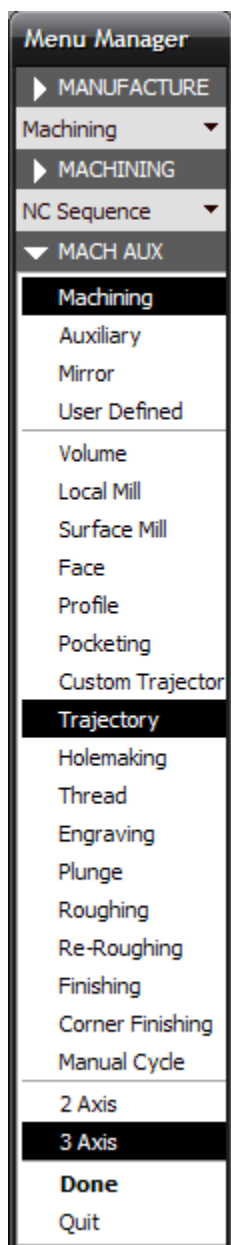
Οι βασικές παράμετροι στην ακολουθία κατεργασίας όγκου σε τροχιά είναι:

- Cut feed
- Prof stock allow
- Clear dist
- Spindle speed

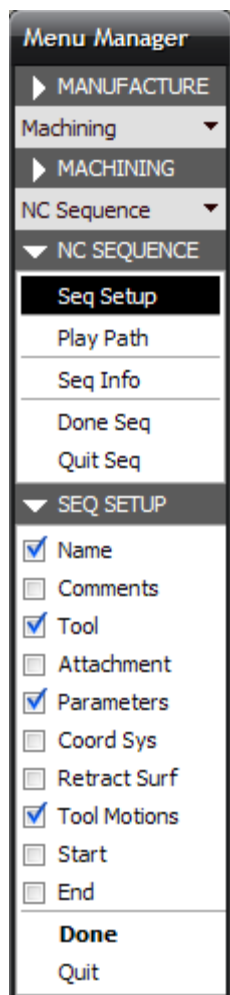
### Δημιουργία της ακολουθίας κατεργασίας όγκου σε τροχιά

Στο αντικείμενό μας θα δημιουργήσουμε δύο ακολουθίες κατεργασίας όγκου σε τροχιά, μια για τις ημικυκλικές εγκοπές και μια για την κατεργασία του κυκλικού τμήματος.

Για να δημιουργήσουμε μια ακολουθία κατεργασίας όγκου σε τροχιά επιλέγουμε Machining → NC Sequence → New Sequence → Trajectory → Done (Εικόνα III.8.64) και στο επόμενο μενού που μας εμφανίζεται φροντίζουμε να είναι επιλεγμένα τα: Name, Tool, Parameters και Tool Motions (Εικόνα III.8.65) και επιλέγουμε Done.



Εικόνα III.8.64

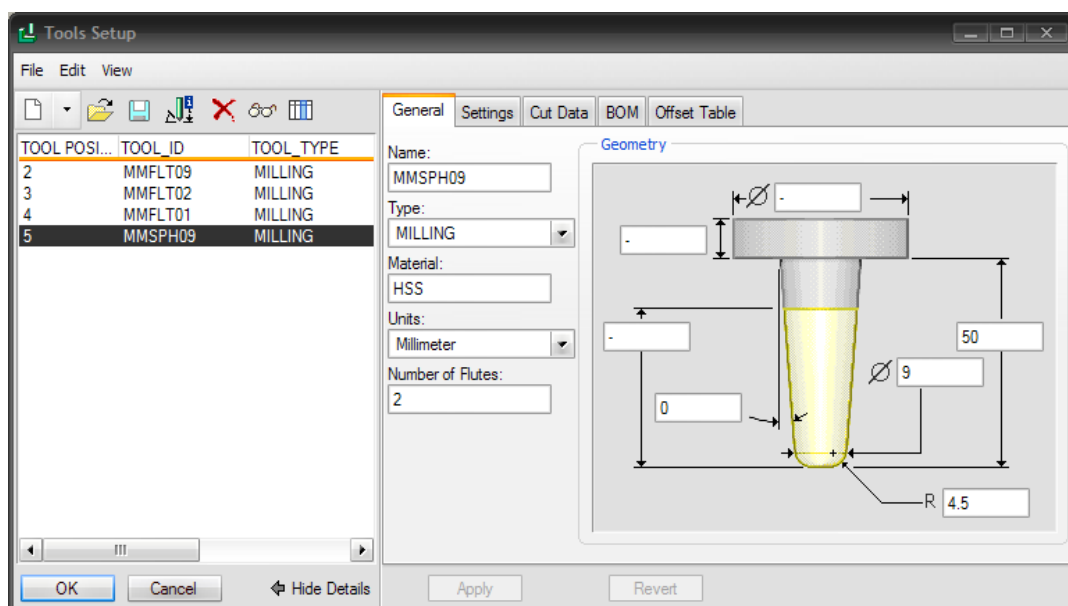


Εικόνα III.8.65

Εισάγουμε το όνομα της ακολουθίας (Traject) και πατάμε Enter.

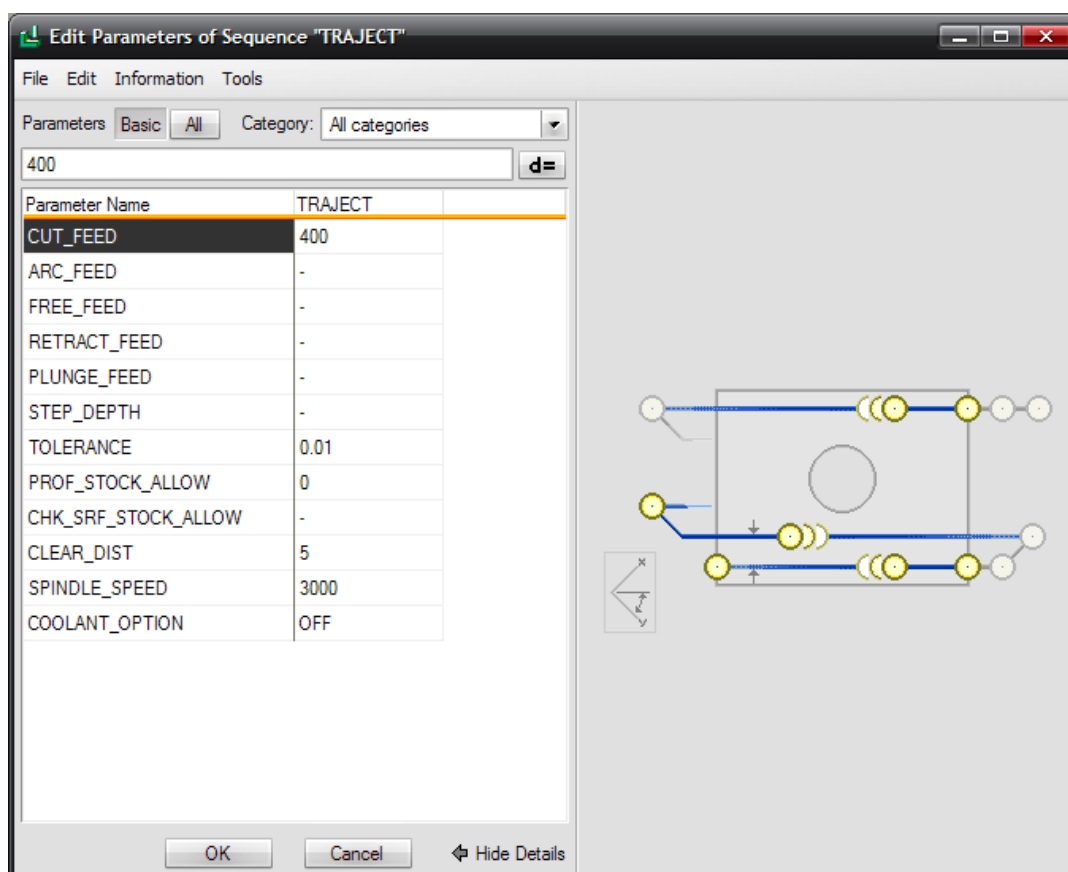
Από την βιβλιοθήκη κοπτικών επιλέγουμε το κοπτικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα III.8.66:





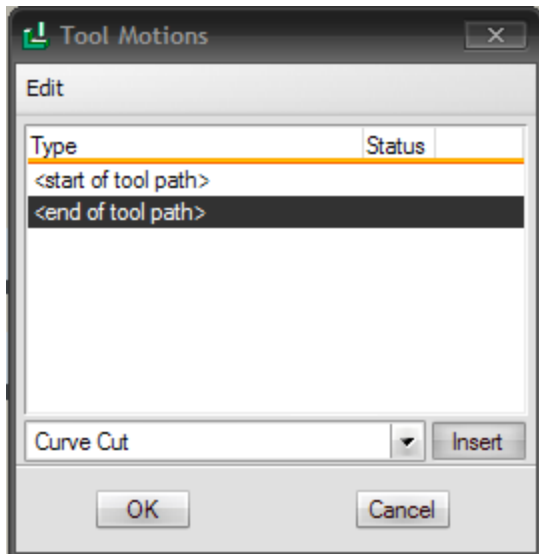
Εικόνα III.8.66

Στη συνέχεια εισάγουμε τις παραμέτρους και επιλέγουμε OK. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι για την ακολουθία Traject (Εικόνα III.8.67).



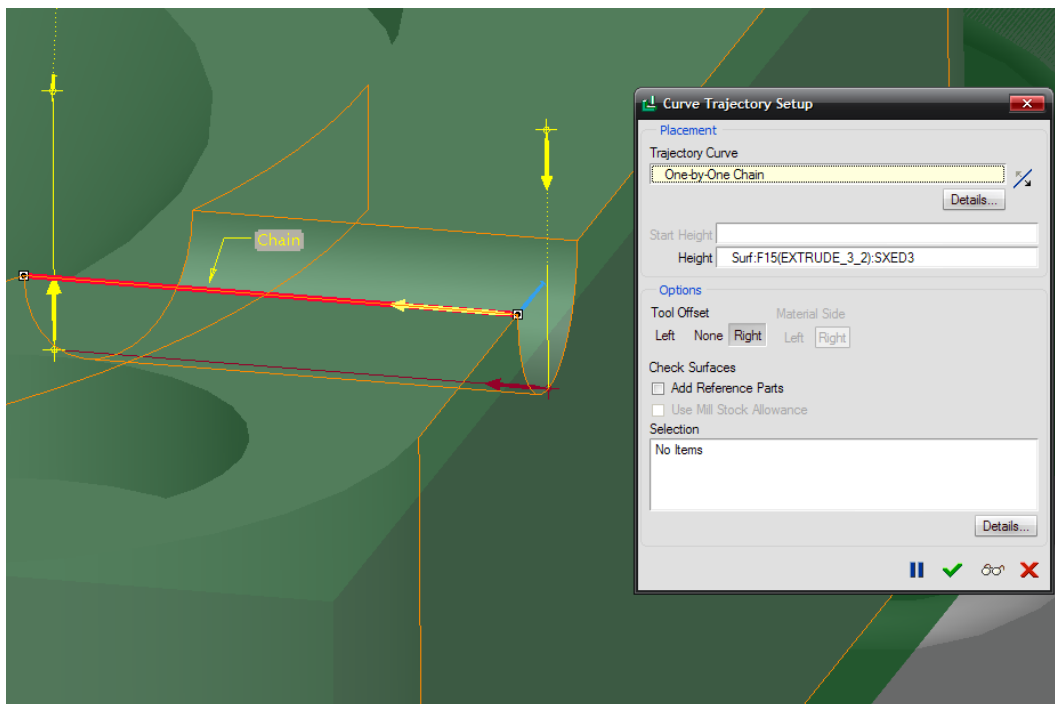
Εικόνα III.8.67

Στη συνέχεια, εμφανίζεται το παράθυρο της *Εικόνας III.8.68*, στο οποίο θα εισάγουμε την κίνηση κοπής του εργαλείου.



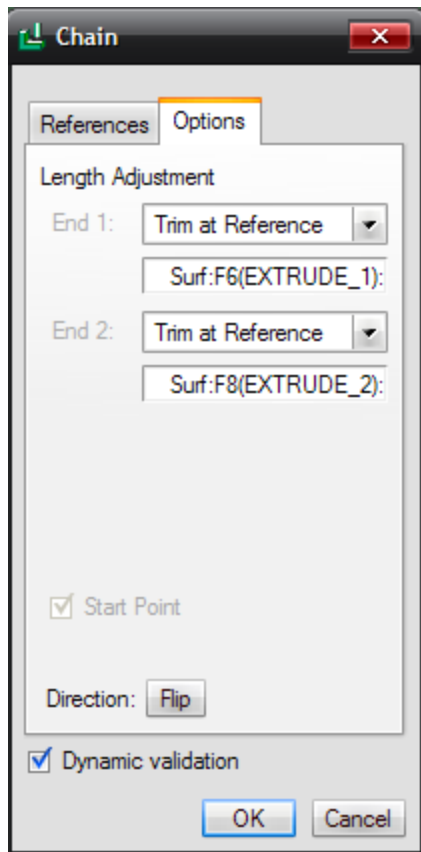
*Εικόνα III.8.68*

Επιλέγουμε το Curve Cut και μετά Insert και μεταφερόμαστε στο παράθυρο του Curve Trajectory Setup και διαμορφώνουμε την τροχιά του κοπτικού, όπως φαίνεται στην *Εικόνα III.8.69*.

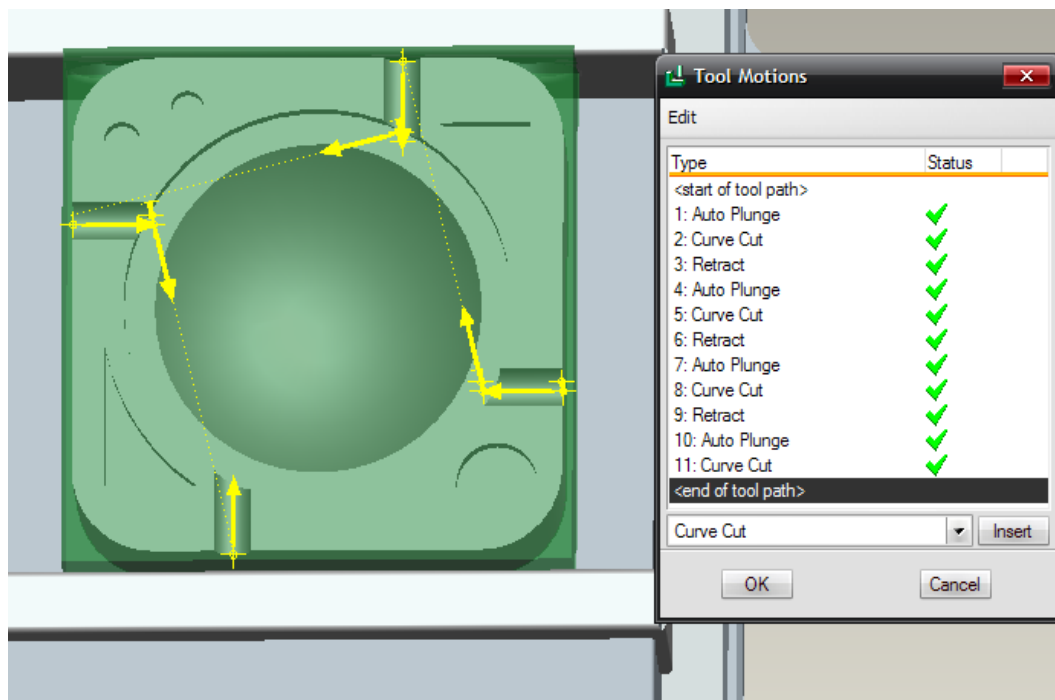


*Εικόνα III.8.69*

Επίσης, ορίζουμε ως ύψος αναφοράς την καμπύλη και από την επιλογή Details → Options, ορίζουμε τις επιφάνειες που θα οριοθετούν την τροχιά της κίνησης του κοπτικού.

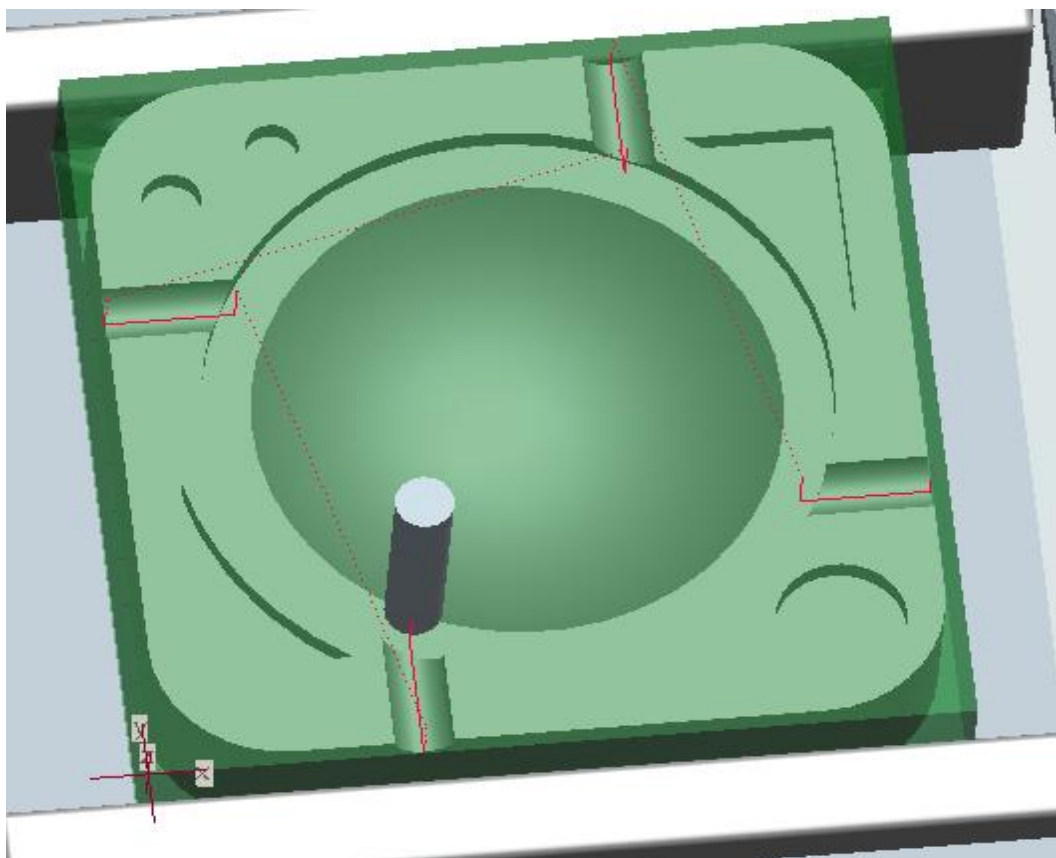


Έπειτα, ορίζουμε και τις υπόλοιπες τροχιές με τον ίδιο τρόπο (Εικόνα ΙΙΙ.8.70). Το κοπτικό εκτελεί την κίνηση, ακολουθώντας, με την σειρά, τις τροχιές που έχουμε ορίσει στο Tool Motions.



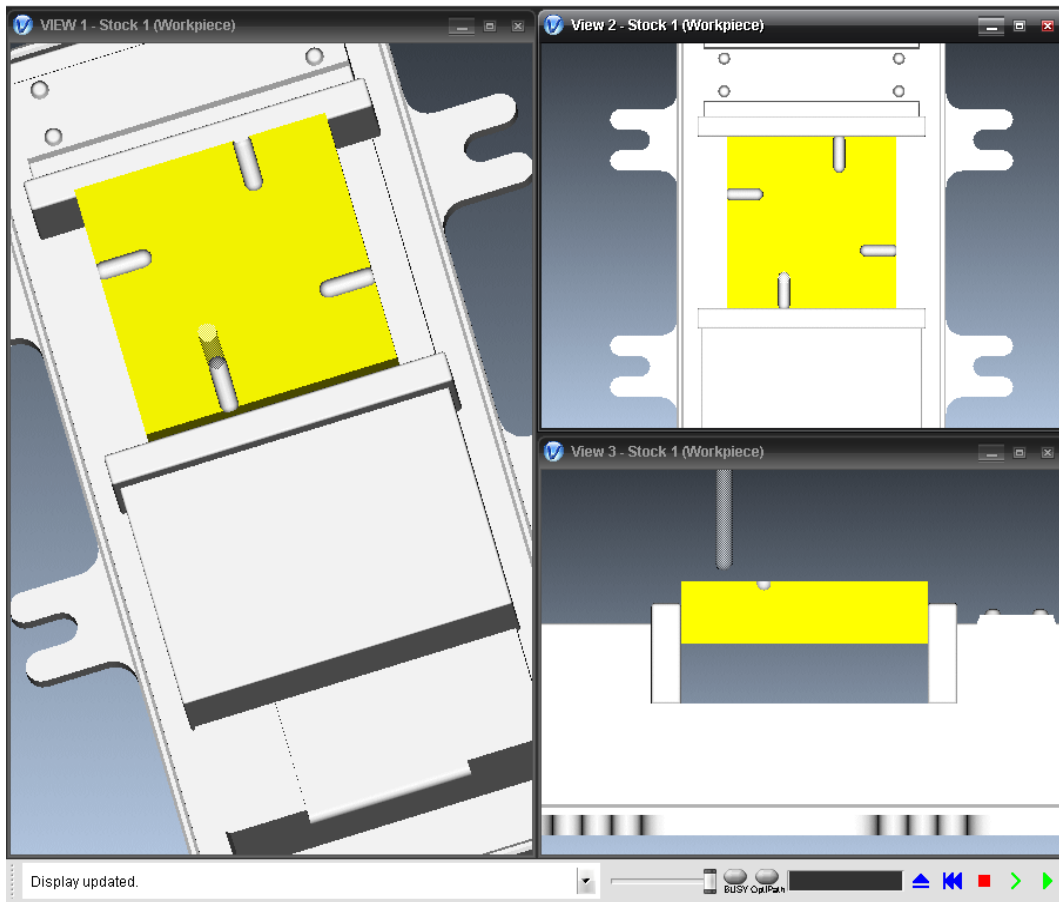
Εικόνα ΙΙΙ.8.70

Επιλέγοντας Play path και screen play και μετά Play βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) (Εικόνες ΙΙΙ.8.71).



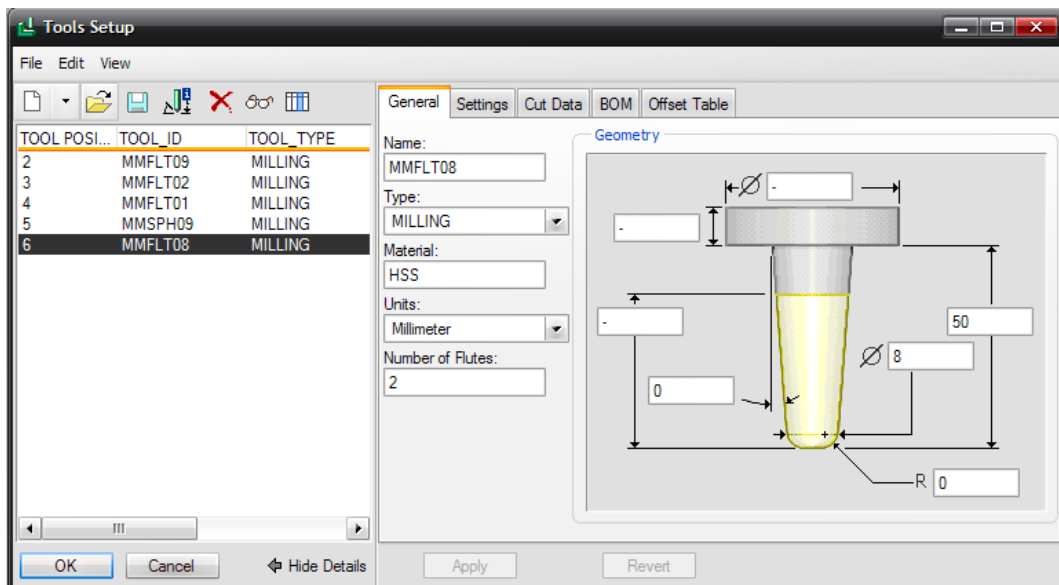
Εικόνες ΙΙΙ.8.71

Η προσομοίωση κοπής στο Vericut παρουσιάζεται στην *Εικόνα ΙΙΙ.8.72*.



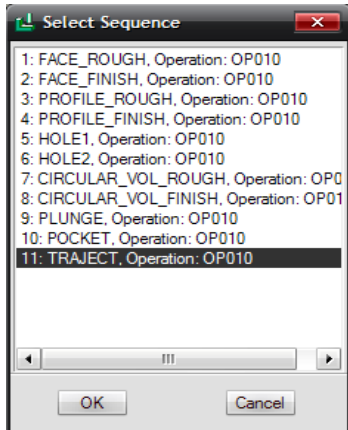
*Εικόνα ΙΙΙ.8.72*

Στη συνέχεια θα κατεργαστούμε τον όγκο μιας κυκλικής τροχιάς. Με τον ίδιο τρόπο, ορίζουμε το όνομα της ακολουθίας (Traject 2). Έπειτα επιλέγουμε το κοπτικό μας με διάμετρο 8mm, όπως φαίνεται στην *Εικόνα ΙΙΙ.8.73*.

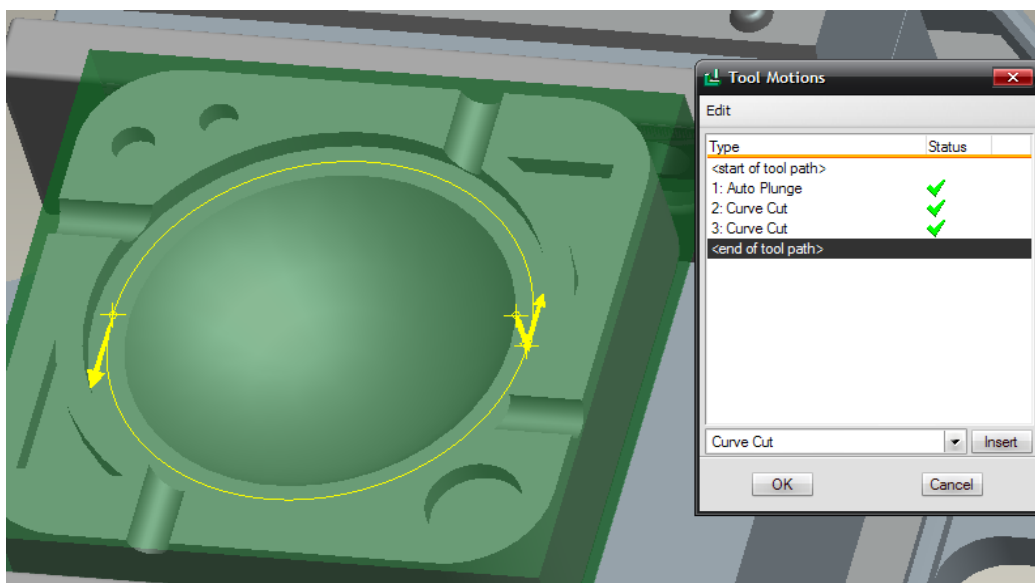
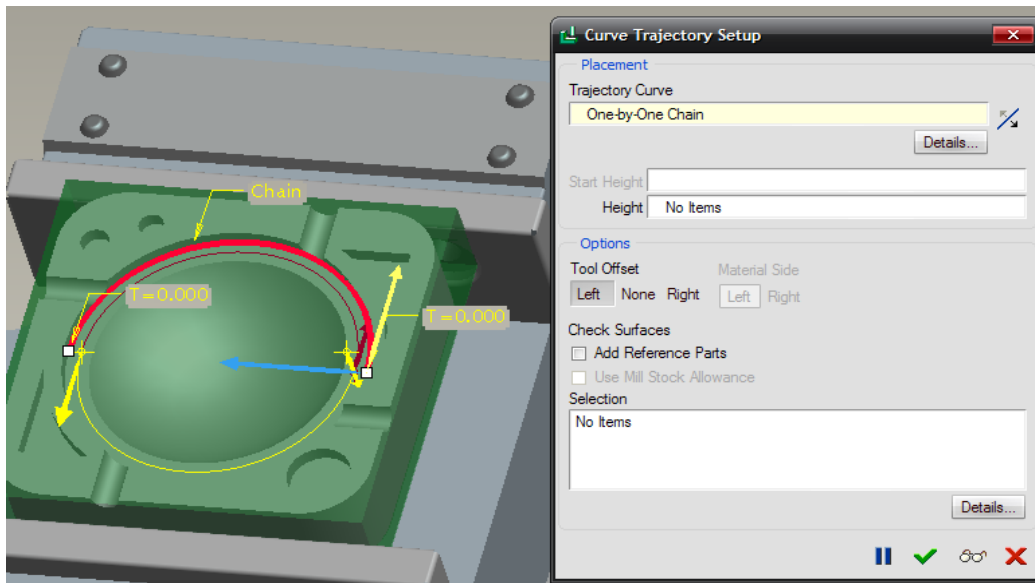


*Εικόνα ΙΙΙ.8.73*

Ορίζουμε τις παραμέτρους, ίδιες με της προηγούμενης ακολουθίας, επιλέγοντάς την από το Edit → Copy from Sequence

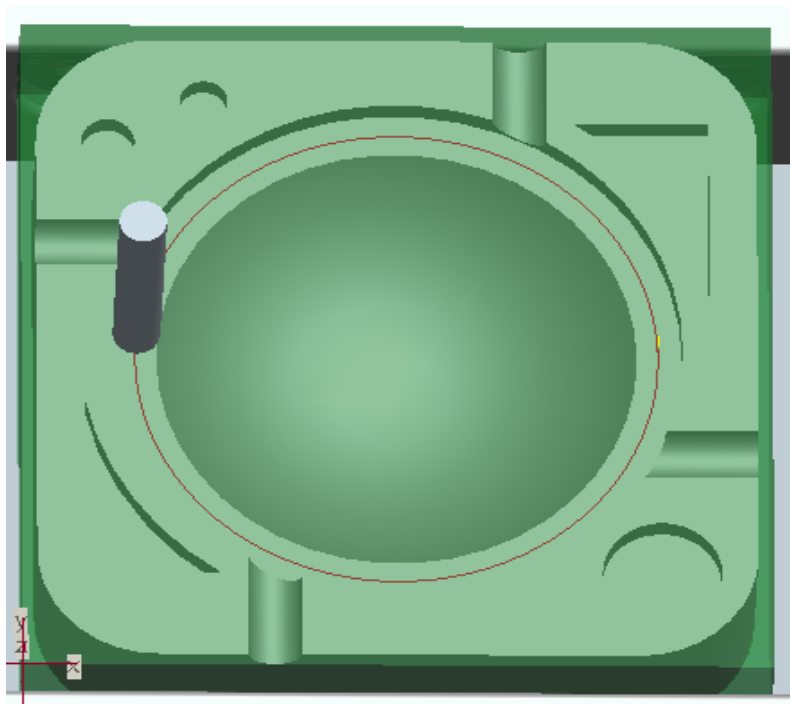


Και στη συνέχεια, ορίζουμε την τροχιά που θα ακολουθήσει το κοπτικό, με την ίδια παραπάνω διαδικασία (Εικόνες III.8.74).



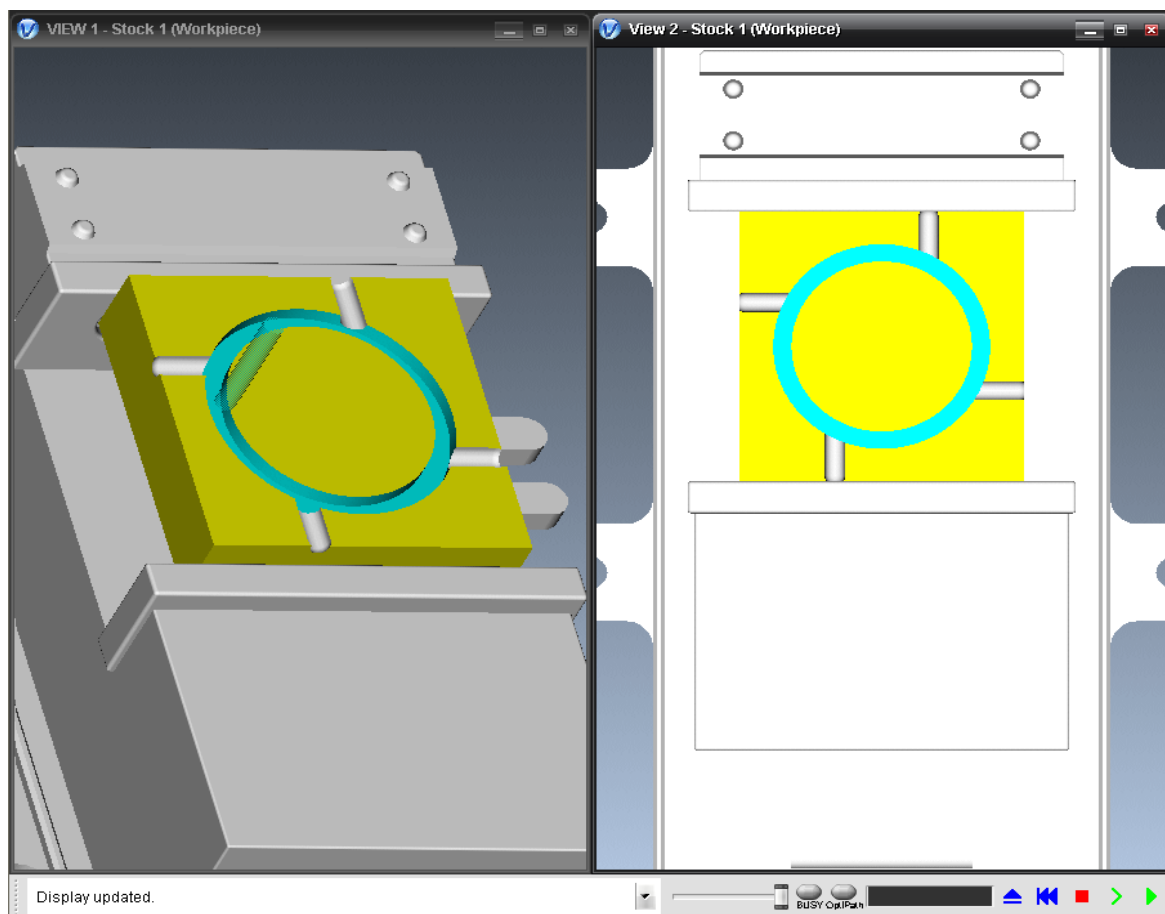
Εικόνες III.8.74

Επιλέγοντας Play path και screen play και μετά Play βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) (Εικόνα ΙΙΙ.8.75).

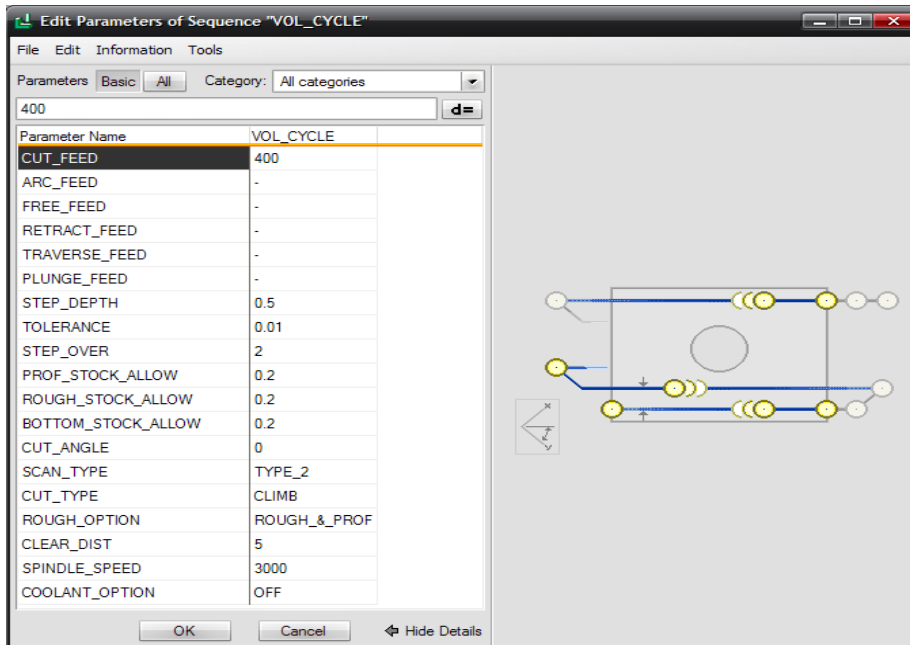


Εικόνα ΙΙΙ.8.75

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την προσομοίωση κοπής και των 2 παραπάνω ακολουθιών Trajectory στο πρόγραμμα Vericut.

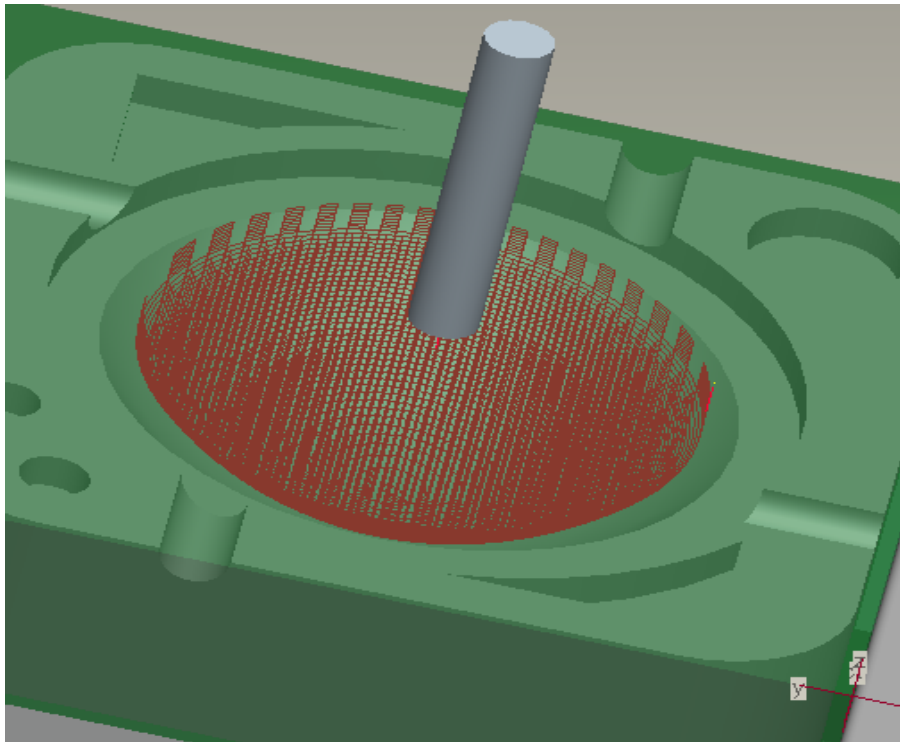


Στο σημείο αυτό, θα εκτελέσουμε μια ακολουθία κατεργασίας όγκου (Volume), για να κατεργαστούμε την ημικυκλική επιφάνεια στο κέντρο του αντικειμένου μας. Η ακολουθία (Vol\_cycle) θα δημιουργηθεί με τον τρόπο που έχουμε προαναφέρει. Ορίζουμε απλά το κοπτικό εργαλείο, ίδιο με της ακολουθίας Circular Vol Rough, και οι παράμετροι για την ακολουθία Vol\_cycle φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα ΙΙΙ.8.76).



Εικόνα ΙΙΙ.8.76

Επιλέγοντας Play path και screen play και μετά Play βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (Εικόνα ΙΙΙ.8.77).

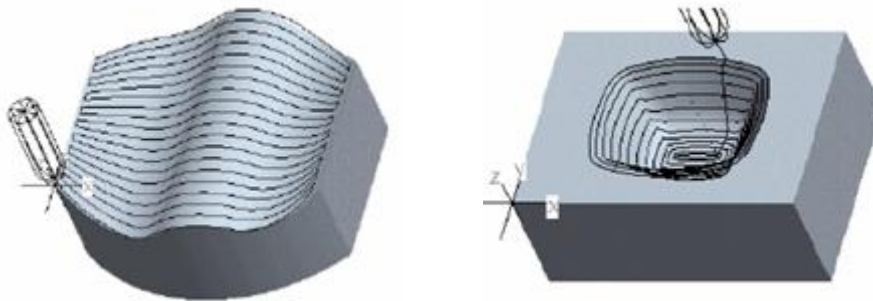


Εικόνα ΙΙΙ.8.77



### viii. Ακολουθία κατεργασίας επιφάνειας (Surface)

Η ακολουθία κατεργασίας επιφάνειας χρησιμοποιείται για να γίνει εκχόνδριση ή αποπεράτωση επιφανειών που έχουν ήδη δημιουργηθεί (Εικόνες ΙΙΙ.8.78).



Εικόνες ΙΙΙ.8.78

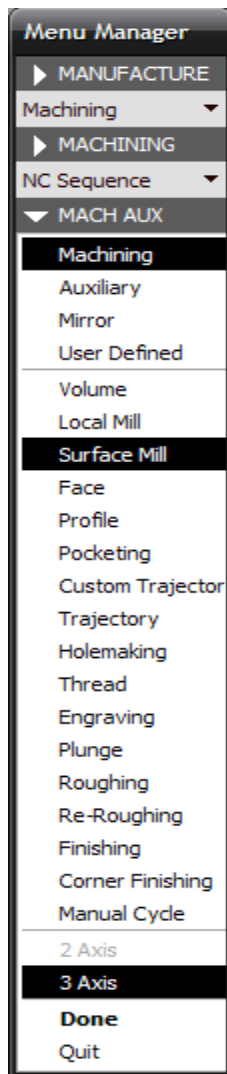
Οι βασικές παράμετροι στην ακολουθία κατεργασίας επιφάνειας είναι:

- Cut feed
- Step over
- Scan type (type 1, type 2, type 3, type spiral, type one dir)
- Prof stock allow
- Clear dist
- Spindle speed

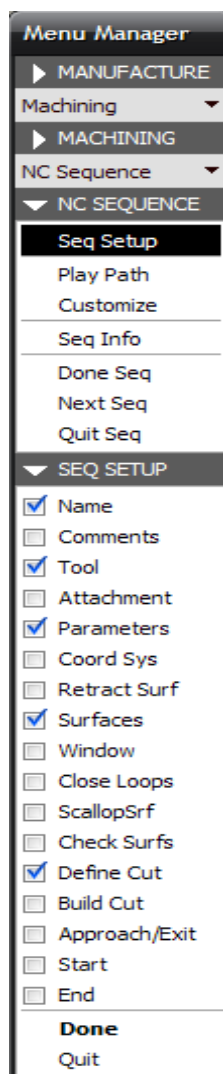
### Δημιουργία της ακολουθίας κατεργασίας επιφάνειας

Στο αντικείμενό μας θα δημιουργήσουμε μια ακολουθία κατεργασίας επιφάνειας για την αποπεράτωση της ημικυκλικής επιφάνειας.

Για να δημιουργήσουμε μια ακολουθία κατεργασίας επιφάνειας επιλέγουμε Machining → NC Sequence → New Sequence → Surface Mill → Done (Εικόνα ΙΙΙ.8.79) και στο επόμενο μενού που μας εμφανίζεται φροντίζουμε να είναι επιλεγμένα τα: Name, Tool, Parameters, Surfaces και Define cut (Εικόνα ΙΙΙ.8.80) και επιλέγουμε Done.

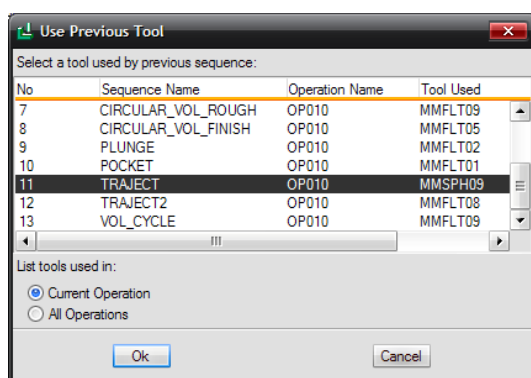


Εικόνα ΙΙΙ.8.79



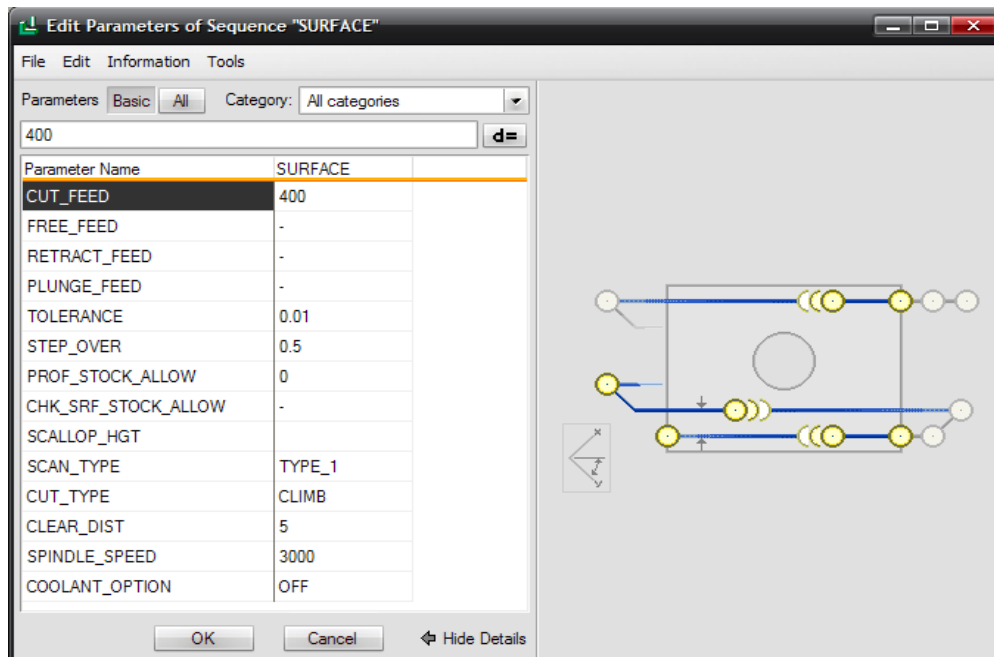
Εικόνα ΙΙΙ.8.80

Από την βιβλιοθήκη κοπτικών επιλέγουμε το κοπτικό της ακολουθίας Traject, από το File → Use previous (Εικόνα ΙΙΙ.8.81)



Εικόνα ΙΙΙ.8.81

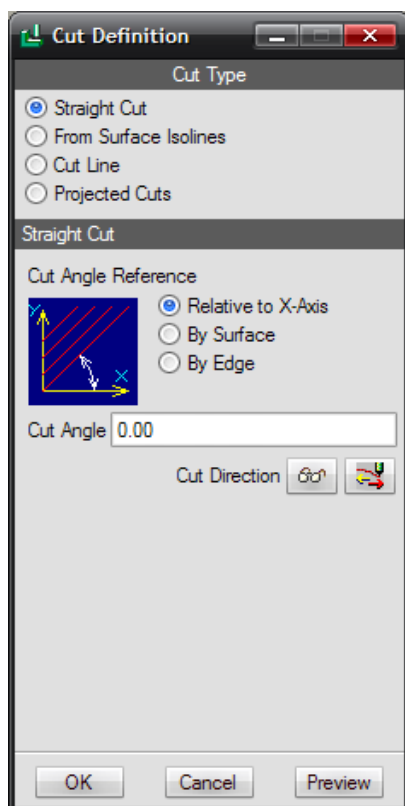
Στη συνέχεια εισάγουμε τις παραμέτρους και επιλέγουμε OK. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι για την ακολουθία Surface (Εικόνα ΙΙΙ.8.82)



Εικόνα ΙΙΙ.8.82

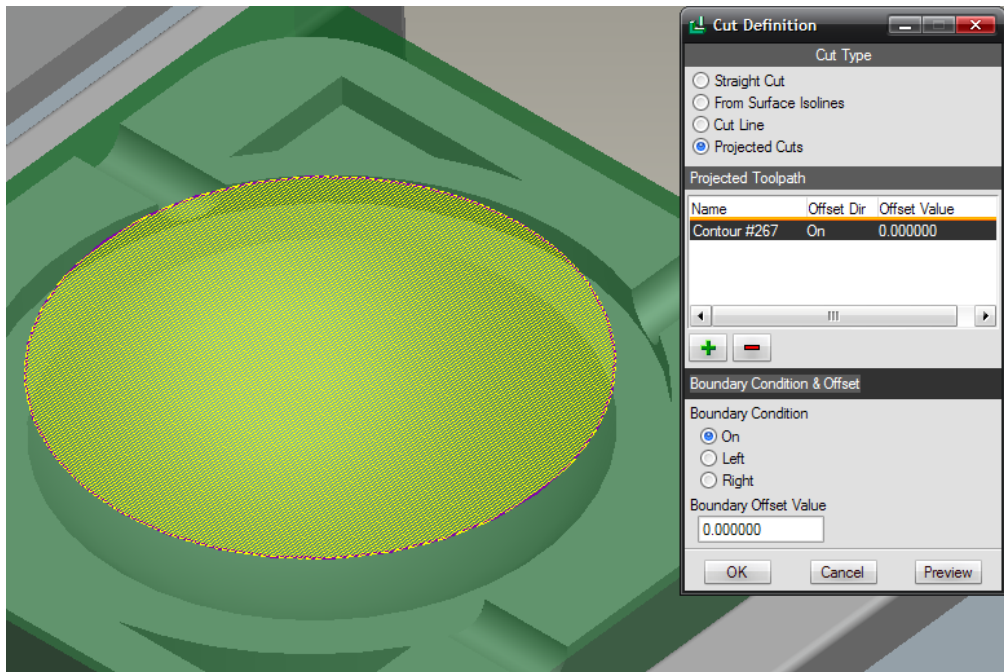
Στην συνέχεια θα επιλέξουμε την επιφάνεια που θα κατεργαστούμε. Επιλέγουμε Model και Done και επιλέγουμε την επιθυμητή επιφάνεια.

Στην συνέχεια, θα επιλέξουμε τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η αποπεράτωση της επιφάνειας. Οι επιλογές είναι:



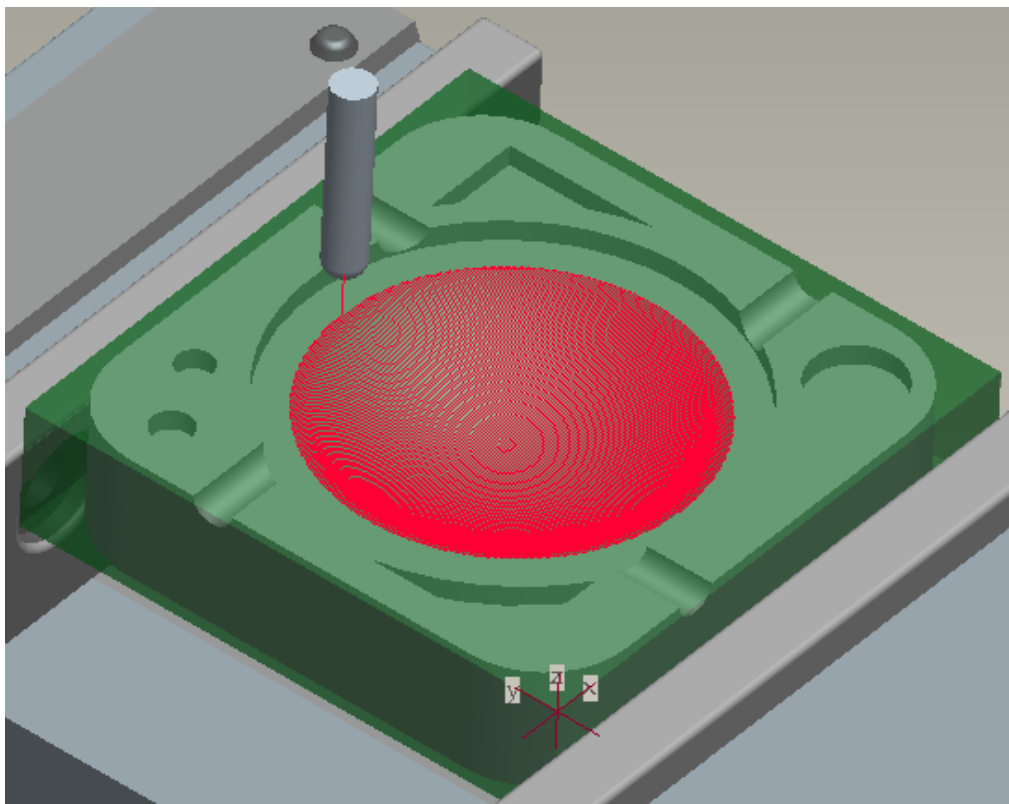
- *Straight cut*: το κοπτικό εκτελεί παράλληλα περάσματα υπό γωνία με τον άξονα X, κάποια ακμή ή κάποια άλλη επιφάνεια.
- *From surfaces isolines*: το κοπτικό κινείται σύμφωνα με τις ισοπαραμετρικές καμπύλες της επιφάνειας.
- *Cut line*: το κοπτικό εκτελεί κίνηση βάσει της αρχική καμπύλης, της τελικής και μερικών ενδιάμεσων.
- *Projected cuts*: το κοπτικό ακολουθεί μια πορεία που έχει οριστεί σε επίπεδο παράλληλο στην επιφάνεια, προβάλλοντας την σε αυτήν.

Επιλέγουμε το Projected cuts και ορίζουμε το Mill Window της ημικυκλικής επιφάνειας, ως προβεβλημένη πορεία (Εικόνα ΙΙΙ.8.83).



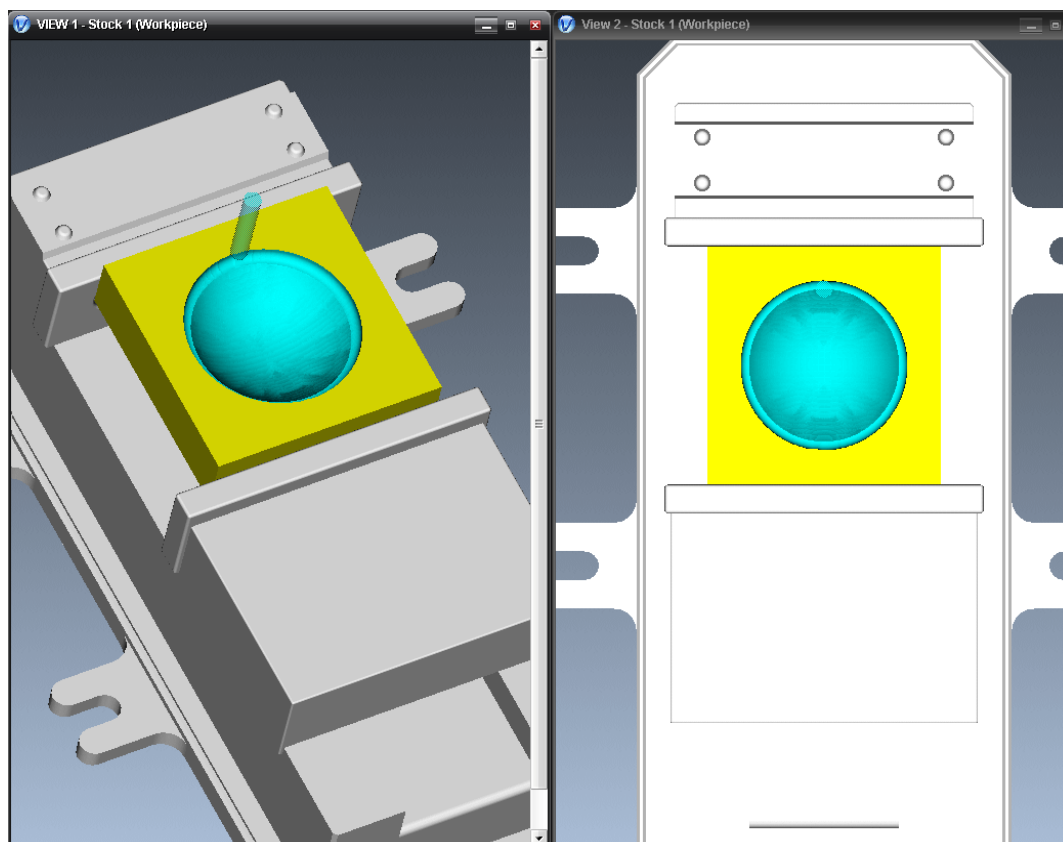
Εικόνα ΙΙΙ.8.83

Επιλέγοντας Play path και screen play και μετά Play βλέπουμε την πορεία του κοπτικού (κόκκινη γραμμή) (Εικόνα ΙΙΙ.8.84).



Εικόνα ΙΙΙ.8.84

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα ΙΙΙ.8.85) βλέπουμε την προσομοίωση κοπής στο πρόγραμμα Vericut των δύο τελευταίων ακολουθιών (Volume και Surface), της ημικυκλικής επιφάνειας που βρίσκεται στο κέντρο του αντικειμένου.




Εικόνα ΙΙΙ.8.85

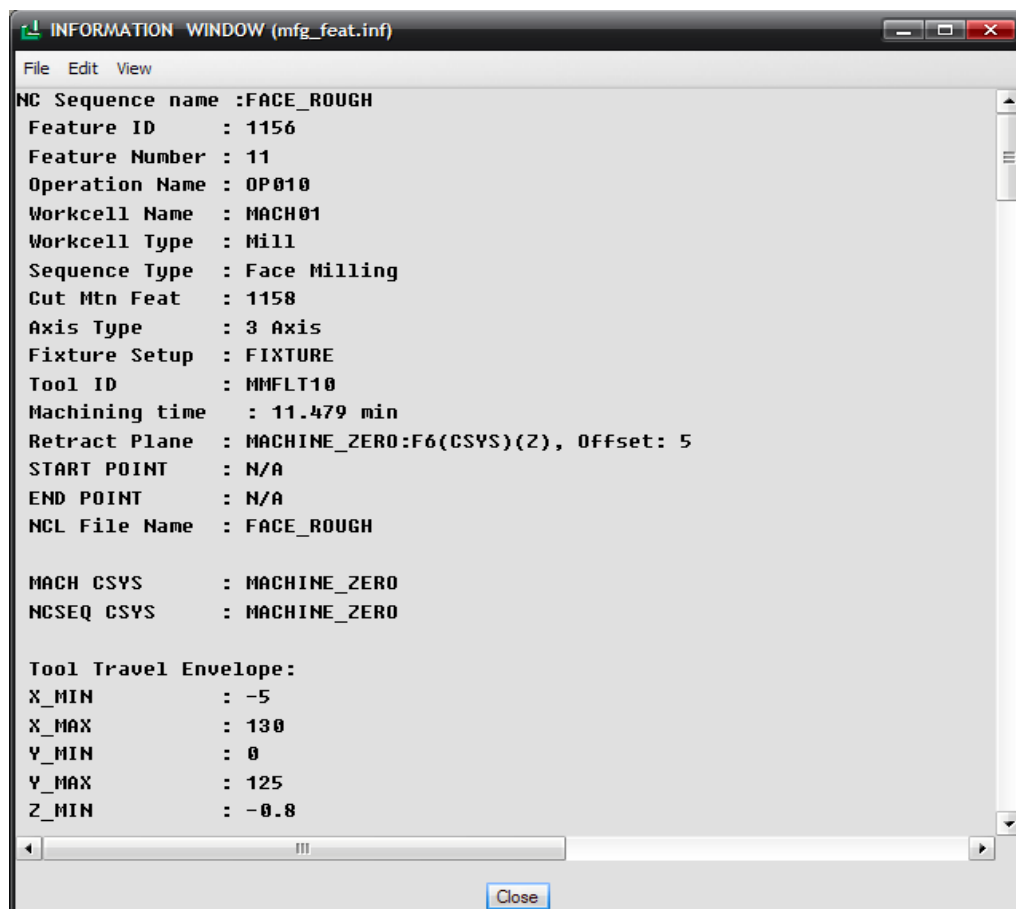
## 9. Πληροφορίες κατεργασίας

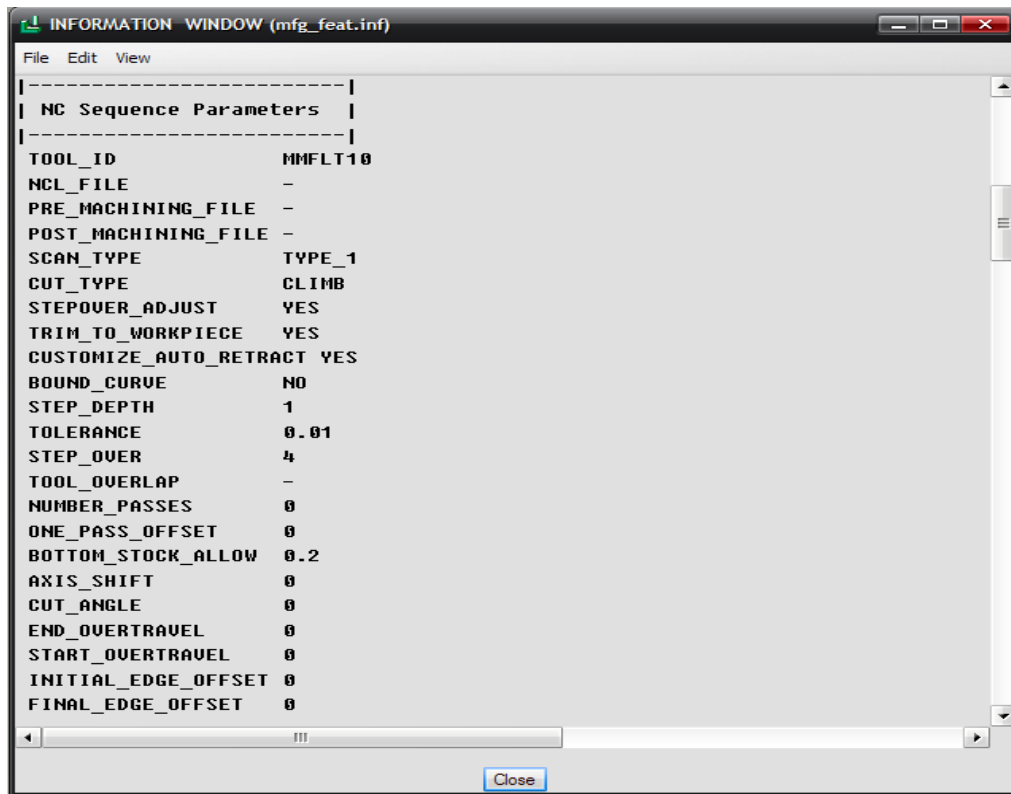
Κατά την διάρκεια σχεδιασμού των ακολουθιών, μπορούμε να παίρνουμε πληροφορίες για αυτές, όπως για παράδειγμα τον αναμενόμενο χρόνο της κατεργασίας (Machining time), τα όρια της κατεργασίας ως προς το σύστημα συντεταγμένων (Tool travel envelope). Υπάρχουν δύο τρόποι λήψης αυτών των πληροφοριών, είτε με το παράθυρο πληροφοριών, είτε με τον process manager.

### ■ Παράθυρο πληροφοριών

Το παράθυρο πληροφοριών μας παρέχει πληροφορίες για την ακολουθία που δημιουργούμε κάθε φορά, είτε για ολόκληρη την λειτουργία. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι εμφάνισής του. Ένας τρόπος είναι να επιλέξουμε Info → Manufacturing και στο παράθυρο που εμφανίζεται, μπορούμε να επιλέξουμε Operation για ολόκληρη την λειτουργία ή NC Sequence για την ακολουθία που θέλουμε. Ένας άλλος τρόπος είναι να επιλέξουμε μέσω μιας συγκεκριμένης ακολουθίας, από το Menu Manager → Seq Info → Done Sel ή επιλέγουμε το εικονίδιο  και πατάμε Sequence για τις πληροφορίες της ακολουθίας και Operation για τις πληροφορίες της λειτουργίας.

Για παράδειγμα, το παράθυρο πληροφοριών για την ακολουθία Face Milling παρουσιάζεται στις *Εικόνες ΙΙΙ.9.1*




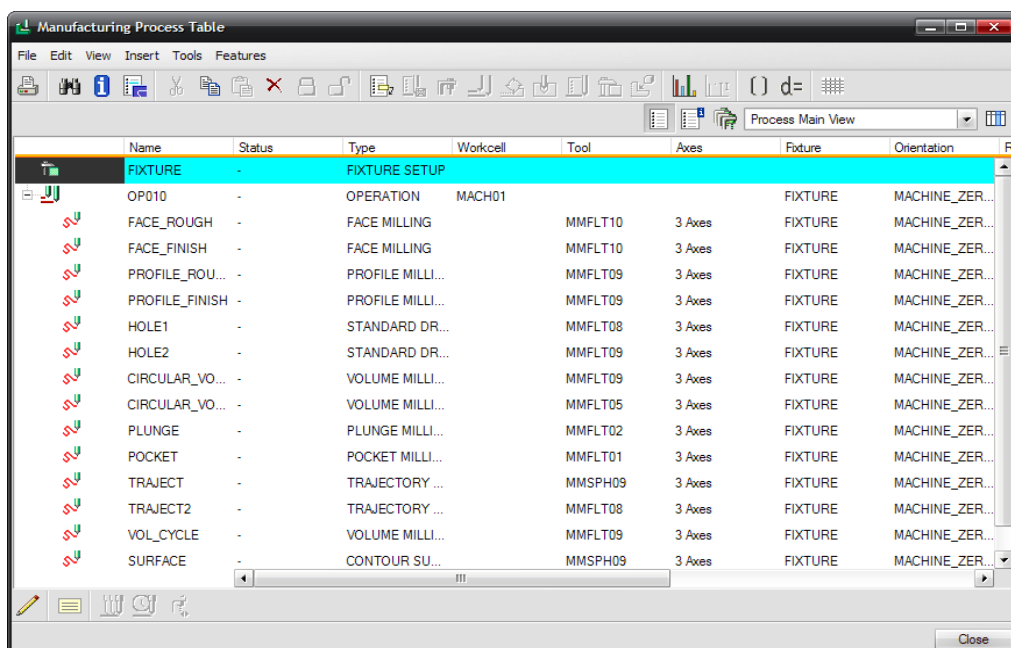


Εικόνες ΙΙΙ.9.1

## ■ Process manager

Με τον process manager μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες για τις ακολουθίες και επιπλέον μπορούμε να επιλέξουμε ποιες πληροφορίες επιθυμούμε να εμφανίζονται.

Το παράθυρο του process manager (Εικόνα ΙΙΙ.9.2) εμφανίζεται είτε επιλέγοντας από το Menu Manager → Process Mgr είτε με το εικονίδιο .



Εικόνα ΙΙΙ.9.2



Επιπλέον, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα στιγμιότυπο στον process manager και να επιλέξουμε τις πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν να εμφανίζονται, επιλέγοντας View → View Builder και να το αποθηκεύσουμε.

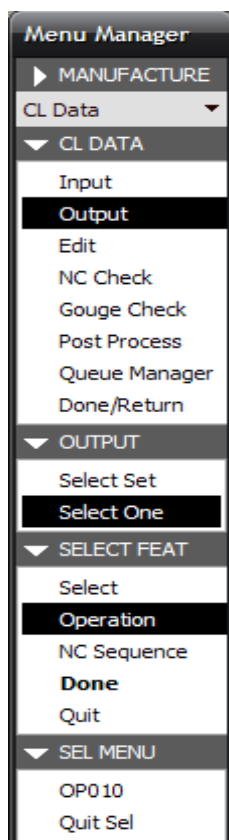
Ακόμα, επιλέγοντας όλες τις ακολουθίες και στη συνέχεια επιλέγοντας Tools → NC Check, ανοίγει αυτόματα το πρόγραμμα Vericut, όπου μπορούμε να παρακολουθήσουμε την προσομοίωση κοπής των ακολουθιών που έχουμε δημιουργήσει.

## 10. Τελική επεξεργασία

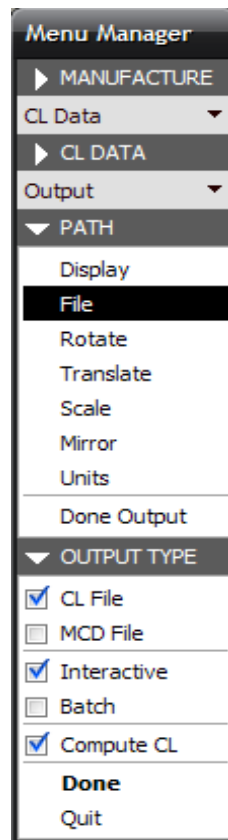
Αφού ολοκληρώσουμε με την δημιουργία των ακολουθιών για τον τελικό σχεδιασμό του αντικειμένου μας, πρέπει να γίνει μεταγλώττιση του αρχείου θέσης του κοπτικού σε μια γλώσσα που αντιλαμβάνεται η μηχανή που θα συνδέσουμε. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να γίνει σωστή ρύθμιση του post processor, ώστε να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Για να δημιουργήσουμε το αρχείο θέσης κοπτικού των ακολουθιών, επιλέγουμε από το Menu Manager → CL Data και επιλέγουμε είτε για ολόκληρη τη λειτουργία είτε για όποιες ακολουθίες θέλουμε (set of NC Sequences) είτε για μια ακολουθία.

Επιλέγουμε να εξάγουμε το αρχείο θέσης κοπτικού για όλη την λειτουργία (Εικόνα III.10.1) και σε αρχείο (Εικόνα III.10.2) και το αποθηκεύουμε στον ίδιο φάκελο.



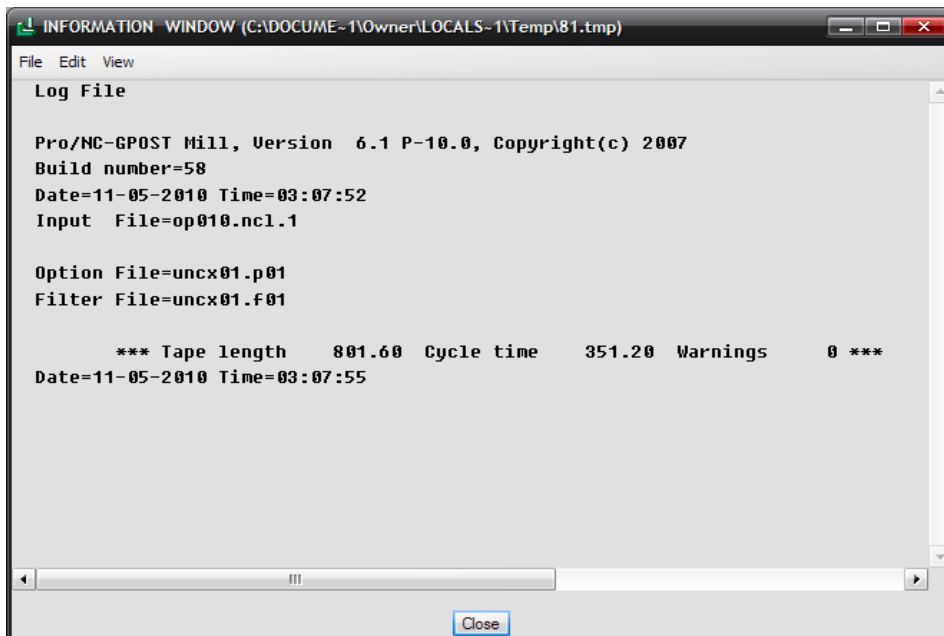
Εικόνα III.10.1



Εικόνα III.10.2



Μόλις δημιουργηθεί επιτυχώς το αρχείο (op010.nc1), επιλέγουμε Done Output και στη συνέχεια από το Menu Manager → CL Data → Post Process, για να ανοίξουμε το αρχείο που δημιουργήθηκε. Έπειτα εμφανίζονται οι διαθέσιμοι τελικοί επεξεργαστές και επιλέγουμε τον κατάλληλο (uncx01.p01). Τέλος, εμφανίζεται ένα παράθυρο με πληροφορίες σχετικές με την διαδικασία που ολοκληρώθηκε (*Εικόνα ΙΙΙ.10.3*).



*Εικόνα ΙΙΙ.10.3*

## IV. Vericut

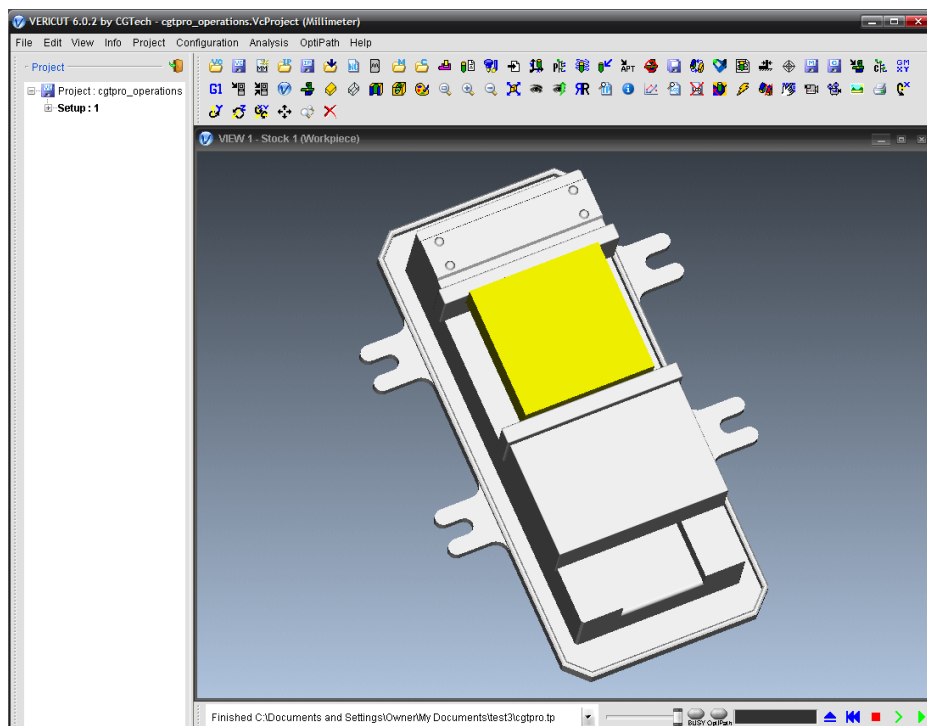
### 1. Εισαγωγή

Το πρόγραμμα Vericut αποτελεί ένα πρόγραμμα προσομοίωσης προγραμμάτων αριθμητικού ελέγχου με πολλές δυνατότητες. Στο πρόγραμμα αυτό, μπορούμε να εισάγουμε ακολουθίες που έχουμε δημιουργήσει στο Pro/NC του Pro/Manufacturing και να παρακολουθήσουμε την προσομοίωση αυτών. Επίσης, μπορούμε να δούμε κατά πόσο μας ικανοποιεί η προσομοίωση, καθώς στο πρόγραμμα αυτό είναι εμφανείς οι τυχόν συγκρούσεις του κοπτικού εργαλείου με το κατεργαζόμενο κομμάτι, με το μέσο συγκράτησης ή με διάφορα μέρη της μηχανής. Ακόμα, μπορούμε να βελτιώσουμε τις προώσεις του προγράμματος, ώστε να επιτύχουμε τις κατάλληλες για το κατεργαζόμενο κομμάτι και, τέλος, υπάρχει και η δυνατότητα καταγραφής της πορείας του κοπτικού σε βίντεο.




Το πρόγραμμα Vericut μπορούμε να το ανοίξουμε είτε επιλέγοντας μέσα από μια ακολουθία Play Path → NC Check είτε από το Menu Manager → CL Data → NC Check είτε ανοίγοντας τον Process Manager και επιλέγοντας τις ακολουθίες και μετά από το Tools → NC Check, για να προσομοιώσουμε περισσότερες από μια ακολουθία.

Για να εκτελεστεί μια προσομοίωση στο πρόγραμμα Vericut, είναι απαραίτητο να εισάγουμε το ακατέργαστο κομμάτι, δηλαδή το αντικείμενο εργασίας (Workpiece), την πορεία του κοπτικού (σε APT ή κώδικα G) και τις διαστάσεις του κοπτικού. Επιπλέον, μπορούμε να εισάγουμε και την μηχανή CNC, για να ελέγξουμε πιθανές συγκρούσεις του κοπτικού με μέρη της μηχανής.

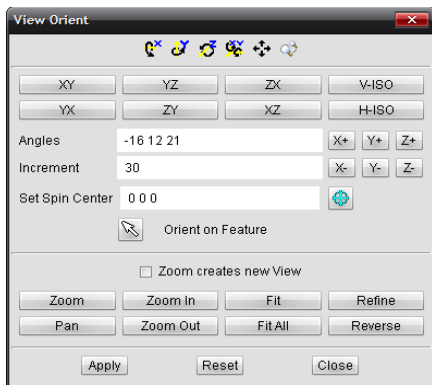
Το κεντρικό παράθυρο του προγράμματος Vericut παρουσιάζεται στην *Εικόνα IV.1.1*.



*Εικόνα IV.1.1*

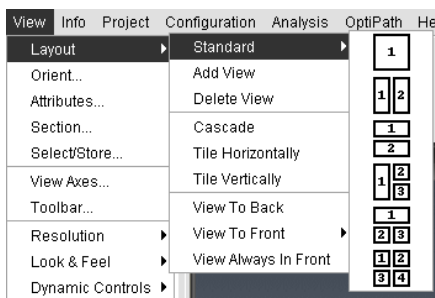
Για να παρακολουθήσουμε την προσομοίωση του κομματιού επιλέγουμε το Play to end , για να δούμε την πορεία του κοπτικού κατά βήμα επιλέγουμε το Single Step  και να το επαναφέρουμε στην αρχική του κατάσταση επιλέγουμε το Reset Model .

Για να αλλάξουμε τον προσανατολισμό του αντικειμένου μας, επιλέγουμε View → Orient για να εμφανιστεί το παράθυρο της *Εικόνας IV.1.2* και είτε το αλλάζουμε χειροκίνητα με βάση κάποιον άξονα, είτε επιλέγουμε μια από τις έτοιμες όψεις, είτε το προσανατολίζουμε όπως επιθυμούμε επιλέγοντας κάποιο σημείο του αντικειμένου.

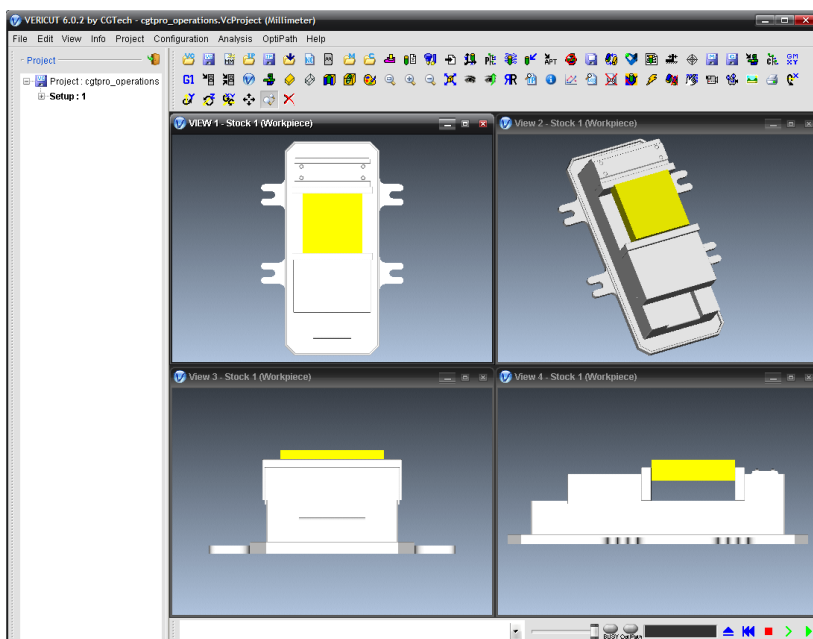


*Εικόνα IV.1.2*

Για να εισάγουμε παραπάνω από μια όψεις επιλέγουμε View → Layout → Standard.





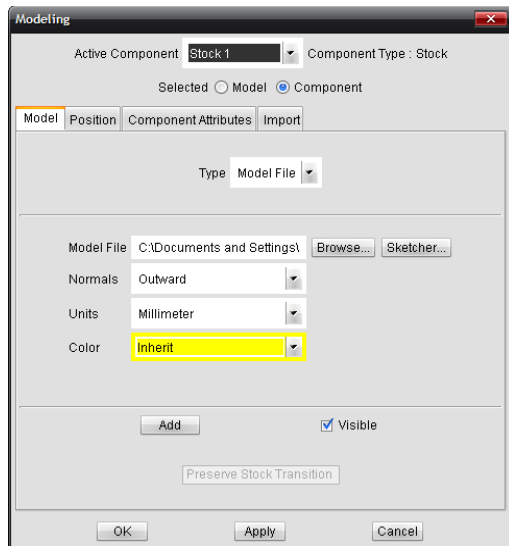
Για εμφάνιση τεσσάρων όψεων, επιλέγουμε την YZ όψη κάτω δεξιά, την XZ κάτω αριστερά, την XY πάνω αριστερά και πάνω δεξιά την default όψη (*Εικόνα IV.1.3*).



*Εικόνα IV.1.3*

Επιπλέον, μπορούμε να κάνουμε κάποιες ρυθμίσεις, ώστε να έχουμε καλύτερη εικόνα στην προσομοίωση, όπως να αλλάξουμε το χρώμα του αντικειμένου και παραμέτρους που σχετίζονται με την κίνηση του κοπτικού εργαλείου.

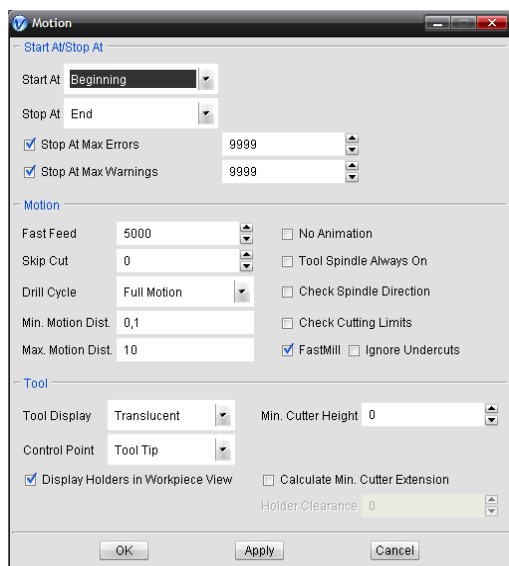
Επιλέγοντας Configuration → Component Tree ή το εικονίδιο  εμφανίζονται τα αντικείμενα που απαρτίζουν το μοντέλο μας και επιλέγοντας Define ή το εικονίδιο  εμφανίζονται οι ρυθμίσεις για το κάθε αντικείμενο (Εικόνα IV.1.4), όπου μπορούμε να αλλάξουμε το χρώμα, την μετατόπιση του και πολλά άλλα.



Εικόνα IV.1.4

Επίσης, επιλέγοντας Edit → Colors μπορούμε να αλλάξουμε το χρώμα για την κάθε ακολουθία.

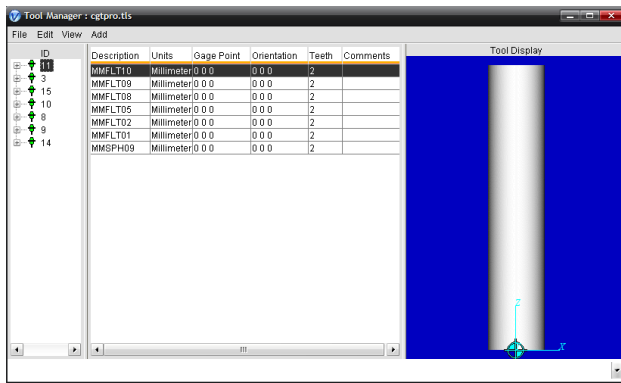
Με την επιλογή Project → Processing Options → Motion εμφανίζεται μια καρτέλα (Εικόνα IV.1.5) όπου μπορούμε να αλλάξουμε διάφορες παραμέτρους που σχετίζονται με την κίνηση του κοπτικού.




Εικόνα IV.1.5

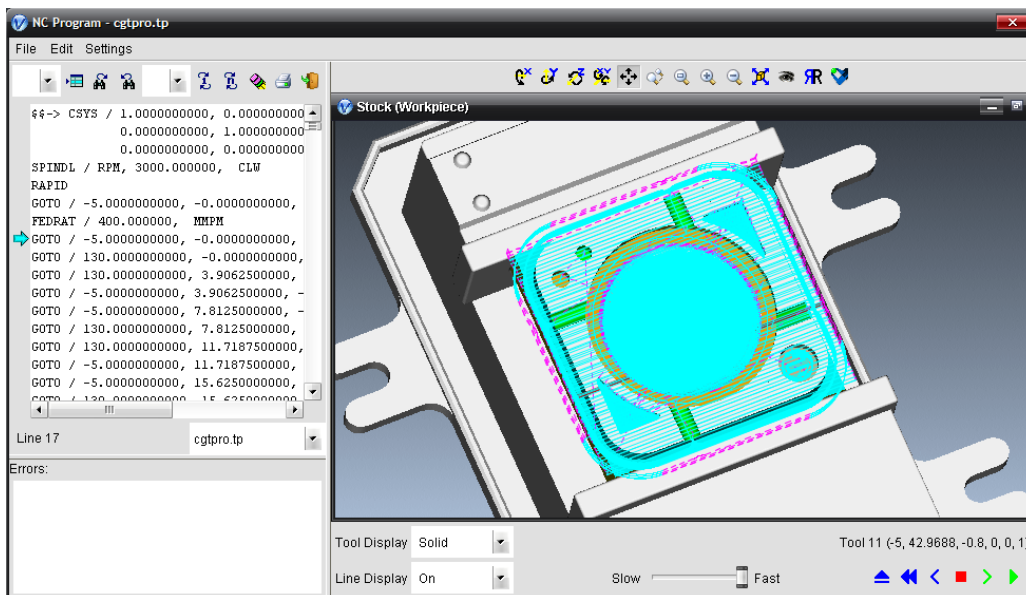
Ακόμα, μπορούμε να ελέγξουμε τα κοπτικά εργαλεία, επιλέγοντας Project → Tools και να εισάγουμε ένα νέο επιλέγοντας από το παράθυρο αυτό Add → Tool → New → Mill.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV: VERICUT



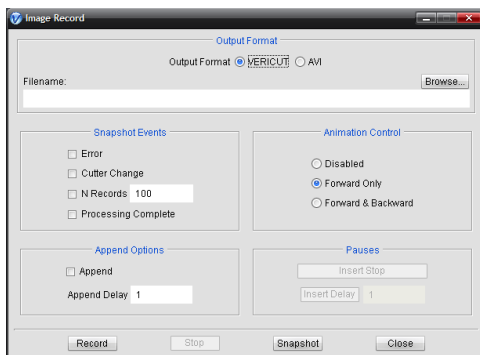
Μετά το τέλος της προσομοίωσης μπορούμε να ελέγξουμε κάποιες λεπτομέρειες για ύπαρξη τυχόν διαφορών της επιθυμητής με την παραγόμενη κατεργασία, καθώς και να βελτιώσουμε την πορεία του κοπτικού, ώστε να έχουμε βέλτιστες συνθήκες κατεργασίας.

Επιλέγοντας Analysis → NC Program Review ή το εικονίδιο  μπορούμε να δούμε αναλυτικά την πορεία του κοπτικού και τον κώδικα του αρχείου θέσης του κοπτικού της κίνησης που εκτελεί (Εικόνα IV.1.6).



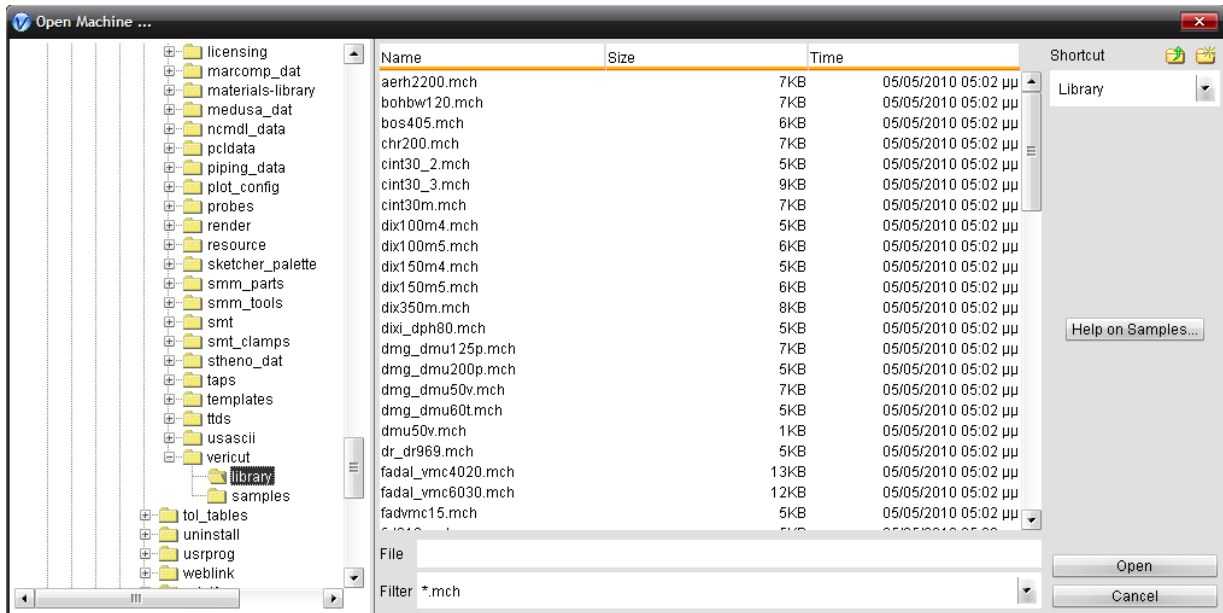
Εικόνα IV.1.6

Για να καταγράψουμε την πορεία του κοπτικού σε βίντεο επιλέγουμε File → Images → Record Movie και στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα IV.1.7), αφού δώσουμε το όνομα του αρχείου που θα εξαχθούν τα δεδομένα, επιλέγουμε Record για εγγραφή βίντεο ή Snapshot για να πάρουμε μια εικόνα της κατεργασίας.

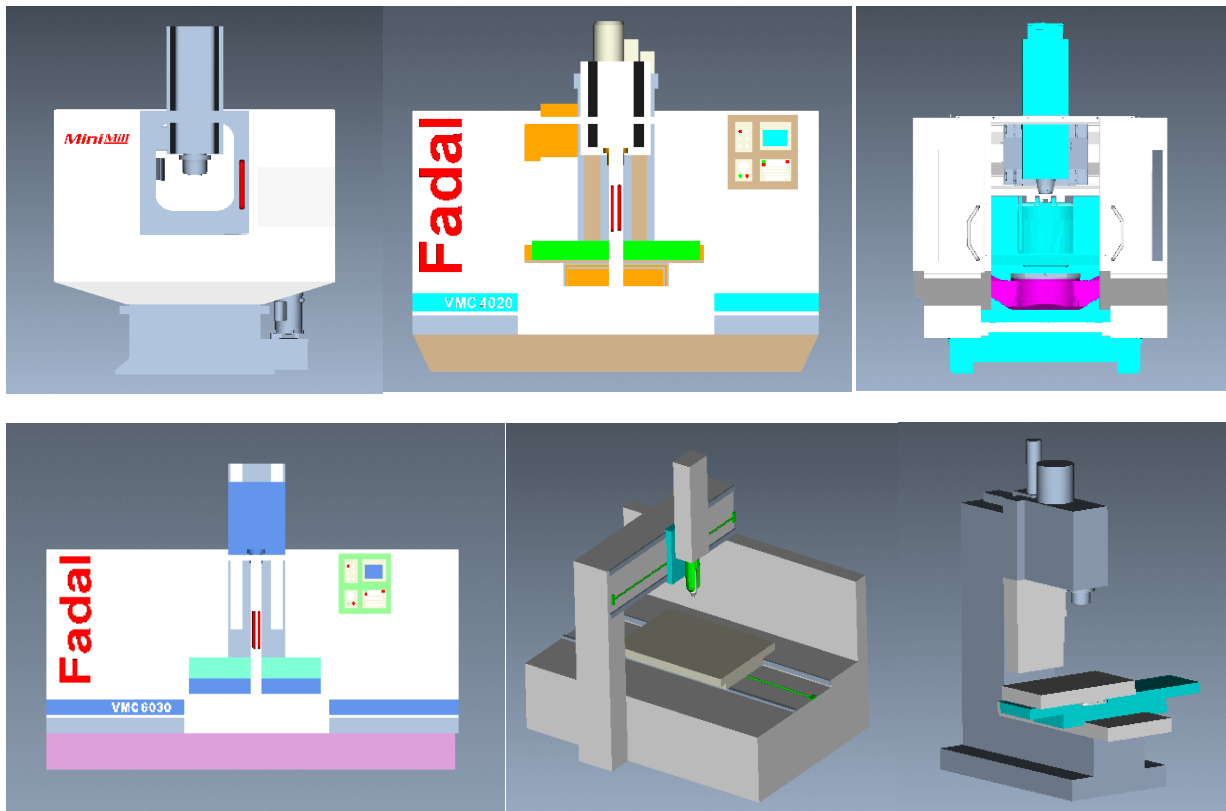


Εικόνα IV.1.7

Τέλος, το πρόγραμμα Vericut μας παρέχει μια πληθώρα μηχανών που μπορούμε να εισάγουμε για να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη προβολή της προσομοίωσης. Επιλέγοντας Configuration → Machine → Open ανοίγουμε την βιβλιοθήκη των μηχανών.



Στις ακόλουθες εικόνες (Εικόνες IV.1.8) φαίνονται μερικές μηχανές CNC από την βιβλιοθήκη του Vericut.



Εικόνες IV.1.8

## Ανασκόπηση - Συμπεράσματα

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε ο αυτόματος τρόπος δημιουργίας κώδικα εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου. Παρουσιάστηκε εκτενώς η μεθοδολογία με βάση την οποία γίνεται η αυτόματη δημιουργία του κώδικα με την βοήθεια του Pro/Engineer. Το Pro/Engineer αποτελεί ένα ολοκληρωμένο πακέτο παραμετρικού λογισμικού τρισδιάστατης μοντελοποίησης και το υποσύστημα Pro/Manufacturing του Pro/Engineer που μελετήθηκε, επιτρέπει τη δημιουργία και την εκτέλεση προγραμμάτων για μηχανές αριθμητικού ελέγχου.

Συγκεκριμένα στην εργασία αυτή, παρουσιάστηκε ο σύγχρονος τρόπος σχεδιασμού και εκτέλεσης κατεργασιών για CNC φρέζες τριών αξόνων, και παράλληλα με αυτό, παρατέθηκαν χρήσιμες συμβουλές για καλύτερη οργάνωση του λειτουργικού περιβάλλοντος του προγράμματος και σημαντικές πληροφορίες για τις παραμέτρους που παίζουν ρόλο στην εκάστοτε κατεργασία.

Για την παρουσίαση των παραπάνω, πραγματοποιήθηκε η δημιουργία ενός δοκιμίου και των απαραίτητων ακολουθιών αριθμητικού ελέγχου για την πλήρη κατεργασία αυτού, και στο τέλος, η προσομοίωση κοπής με την βοήθεια του προγράμματος Vericut.

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του αξίζει να σημειωθούν οι εξής παρατηρήσεις:

Πριν τον σχεδιασμό των κατεργασιών πρέπει:

- ✓ Να οριστεί ο τρόπος συγκράτησης του εκάστοτε κομματιού με το τραπέζι της εργαλειομηχανής.
- ✓ Να είναι γνωστά τα κοπτικά εργαλεία με τα οποία θα γίνει η εκάστοτε κατεργασία και να ικανοποιούν τις γεωμετρικές απαιτήσεις του τεμαχίου. Για κατεργασίες που αφορούν εκχόνδριση να χρησιμοποιούνται κοπτικά μεγάλης διαμέτρου για μείωση του χρόνου κατεργασίας.
- ✓ Να γίνει ένα διάγραμμα των κατεργασιών και των υποδομών που θα δημιουργηθούν για περεταίρω κατεργασίες (π.χ. αποπεράτωση).

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού των κατεργασιών πρέπει:

- ✓ Να λαμβάνονται υπόψη οι αντοχές των κοπτικών, να γίνεται συσχέτιση με το υλικό κατεργασίας και να δίνεται σημασία στις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε μηχανής. Η χρήση ψυκτικών υγρών αυξάνει τη διάρκεια ζωής των κοπτικών και διευκολύνει τις κατεργασίες με μεγάλες προώσεις.
- ✓ Να εισάγονται στο πρόγραμμα σχόλια για τη διευκόλυνση του χειριστή της εργαλειομηχανής.
- ✓ Να γίνεται προσομοίωση του κώδικα σε ειδικό πρόγραμμα για την ανίχνευση λαθών του προγράμματος και τη βελτίωση της πορείας του κοπτικού.

- ✓ Να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι μπορεί το αντικείμενο προς κατεργασία να έχει απόκλιση στο μέγεθος από το επιθυμητό, ώστε να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα και όρια.

Όσο αναφορά την οργάνωση του λειτουργικού περιβάλλοντος του προγράμματος, υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης πολλών επιλογών διάταξης (config. pro options), ώστε να προσαρμόσουμε το περιβάλλον στις επιθυμητές συνθήκες. Αυτό επιφέρει εξοικονόμηση χρόνου και κόπου για επίσπευση διαφόρων διαδικασιών, όπως δημιουργία, κατεργασία, αποθήκευση.

Επίσης, ιδιαίτερα σημαντικά είναι τα αρχεία κατεργασίας, τα οποία χρησιμοποιούμε για να ορίσουμε κάποιες βασικές συνήθειες παραμέτρους, δηλαδή να δημιουργήσουμε ένα αρχείο στα δικά μας πλαίσια, προσδιορίζοντας προεπιλεγμένες ρυθμίσεις παραμέτρων, το οποίο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σε περισσότερες από μια ακολουθίες.

Ένα ακόμη δυνατό σημείο του προγράμματος αποτελεί η δημιουργία ενός πρότυπου μοντέλου κατεργασίας. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργούμε ένα ικανοποιητικό πρότυπο, που περιέχει τις βασικές επιθυμητές ρυθμίσεις, για να μας διευκολύνει κατά τη δημιουργία ενός νέου μοντέλου κατεργασίας.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί ένα αρχικό στάδιο για την εισαγωγή στην προχωρημένη σχεδίαση στο υποσύστημα Pro/Manufacturing του Pro/Engineer, ωστόσο, είναι επιθυμητή η επέκτασή της με στόχο την αξιοποίηση και των υπόλοιπων εφαρμογών και δυνατοτήτων του λογισμικού αυτού.



## Βιβλιογραφία - Πηγές

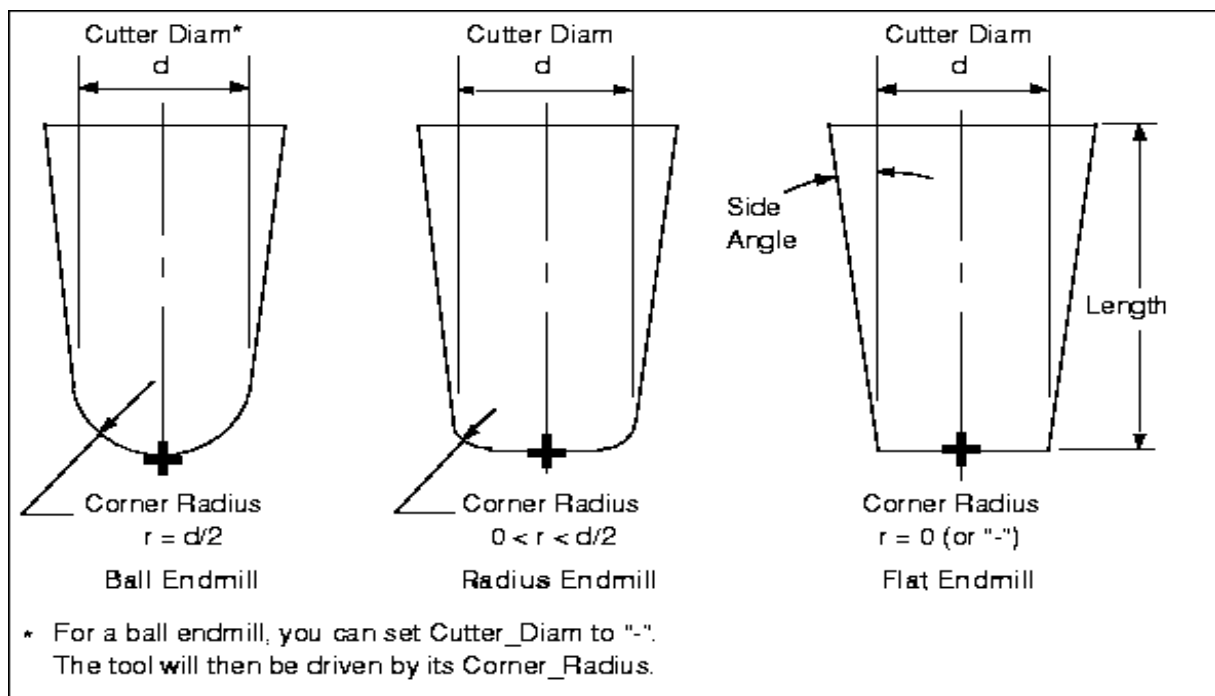
### Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Μπιλάλης, Ν. (2006), *Μελέτη & Σχεδίαση Με Χρήση Η/Υ*, Πολυτεχνείο Κρήτης.
2. Μπιλάλης, Ν. (2006), *Μελέτη & Ανάπτυξη Προϊόντων*, Πολυτεχνείο Κρήτης.
3. Μπιλάλης, Ν. και Μαραβελάκης, Μ. (2009), *Συστήματα CAD/CAM και Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση*, Εκδόσεις Κριτική.
4. Μπιλάλης, Ν. (1993), *Εργαλειομηχανές Αριθμητικού Ελέγχου N.C. & C.N.C.*, Εκδόσεις Ίων.
5. Τσέας, Γ. (1990), *Εργαλειομηχανές*, 3<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Ίων.
6. Braun, Herwig, μετάφρ. Βούλγαρης, Μελέτιος Δ., επιμ. Μαντέμης, Σ., Τράκας, Χ. (1996), *Εργαλειομηχανές II*, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις.
7. Krar, Steve and Gill, Arthur, μετάφρ. Γαβριηλίδης, Λ. (1993), *Μηχανές Αριθμητικού Ελέγχου CNC : Τεχνολογία και Προγραμματισμός*, Εκδόσεις Τζιόλα.

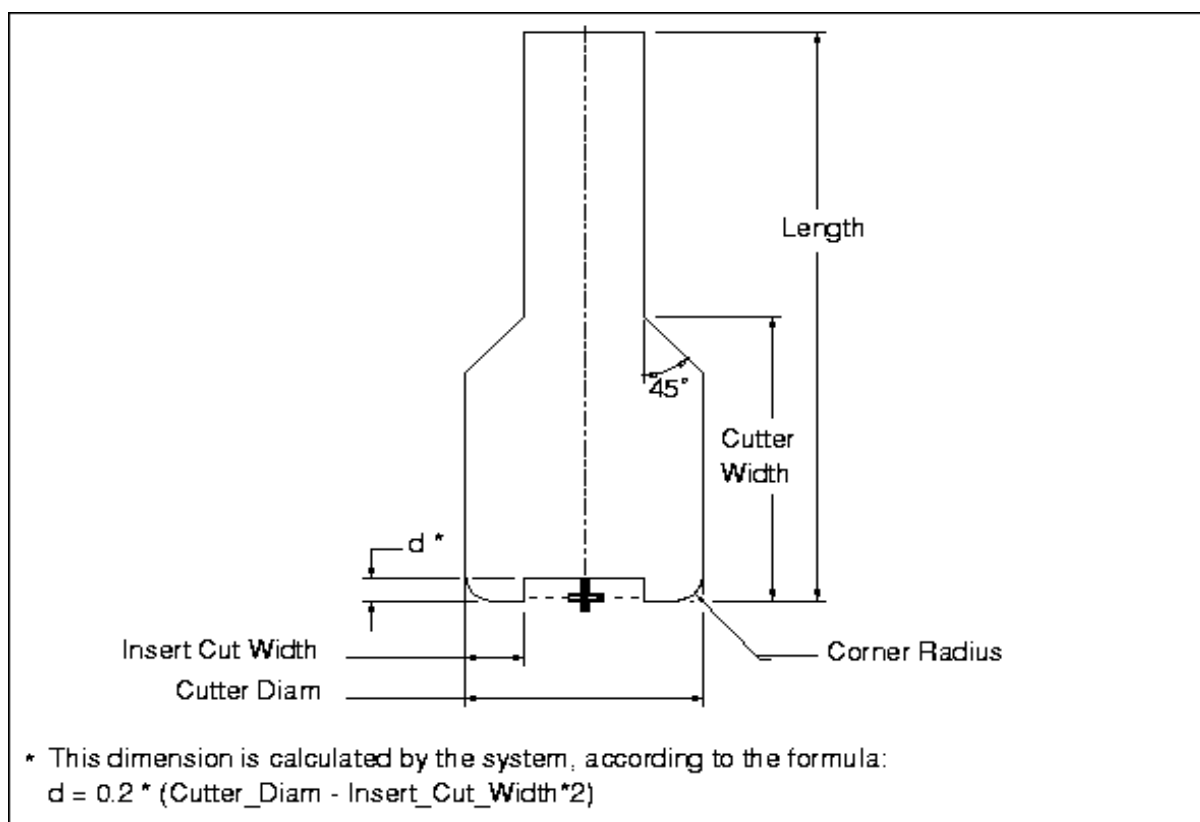
### Από δικτυακό τόπο

1. PTC – Pro/Engineer, <http://www.ptc.com>
2. MCAD Central – Pro/Engineer, <http://www.mcadcentral.com/proe>
3. PTC Express, <http://www.imakenews.com/ptcexpress>
4. CG Tech – Vericut, <http://www.cgtech.com>
5. CAD information, <http://www.cadinfo.net>
6. CNC Magazine, <http://cncmagazine.com>
7. Wikipedia, <http://www.wikipedia.org>
8. ScienceDirect, <http://www.sciencedirect.com>
9. PC Magazine, <http://e-pcmag.gr>
10. CAM Lab, <http://www.cam.tuc.gr>
11. CAD Lab, <http://www.cadlab.tuc.gr>
12. Micromachining & Manufacturing Modeling Lab, <http://www.m3.tuc.gr>

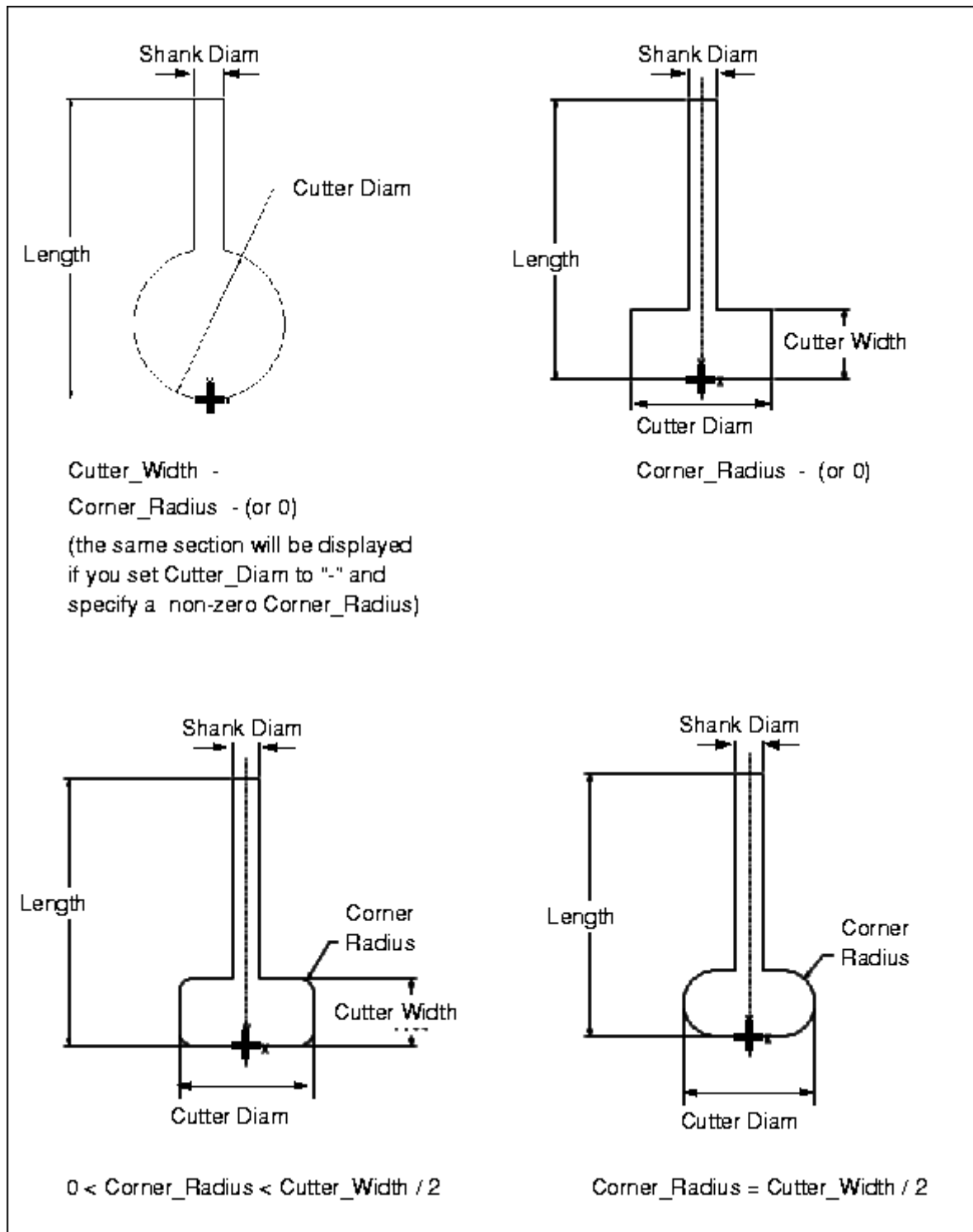
## Παράρτημα 1 – Κοπτικά εργαλεία



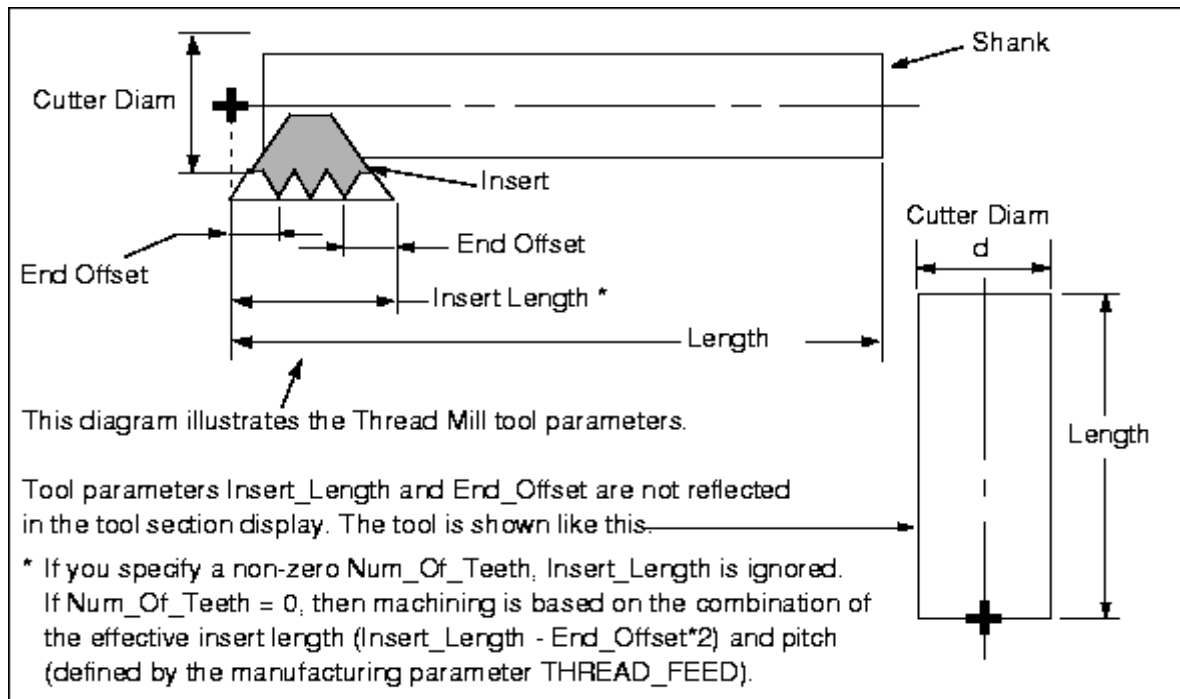
Milling Tools



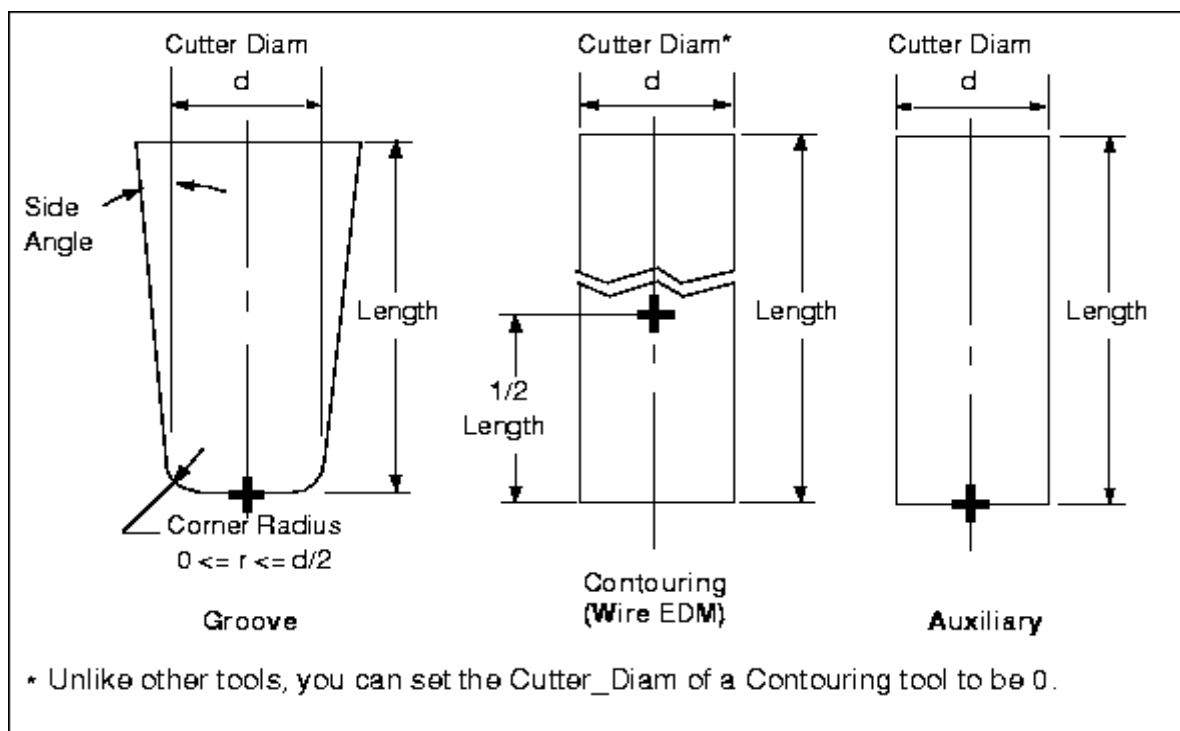
Plunge Mill Tool



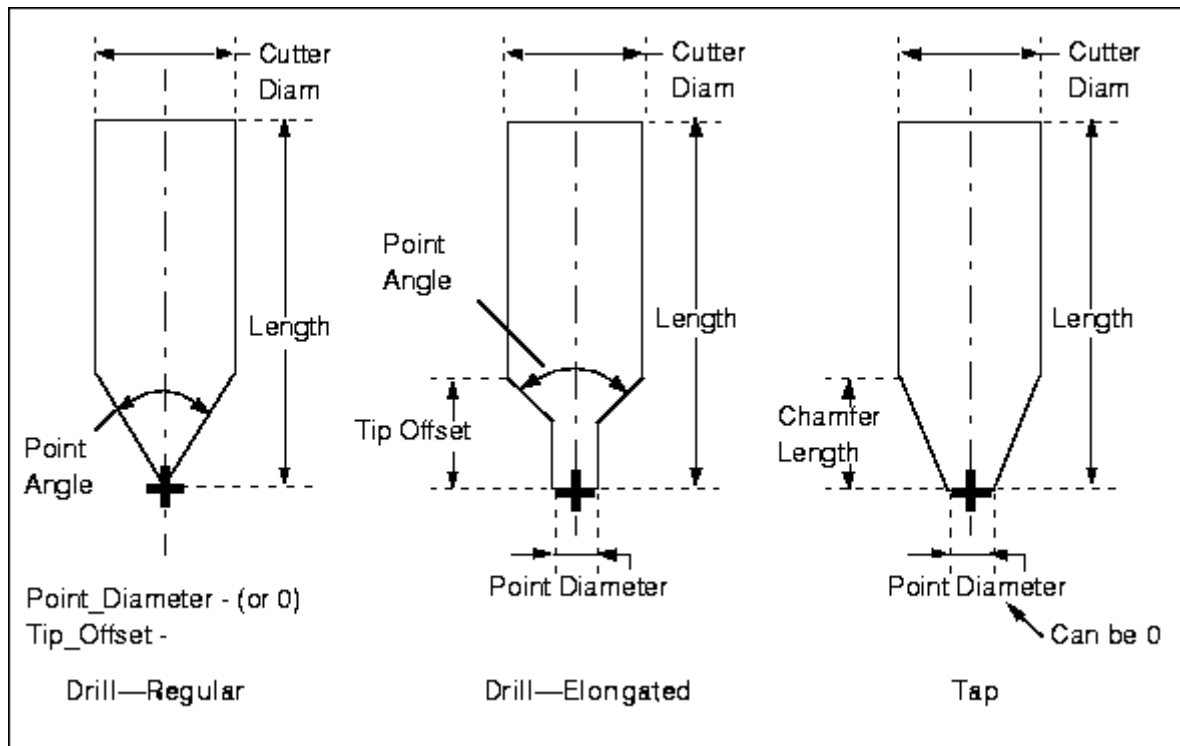
Side Mill Tool Sections



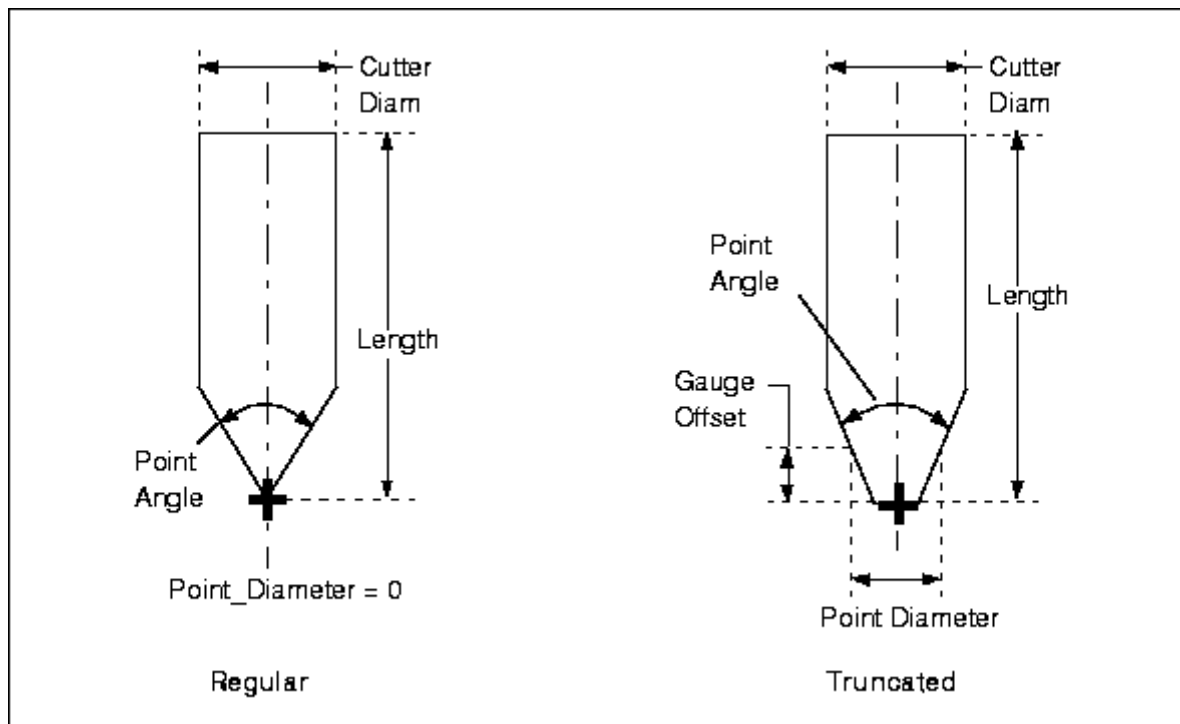
Thread Mill Tool



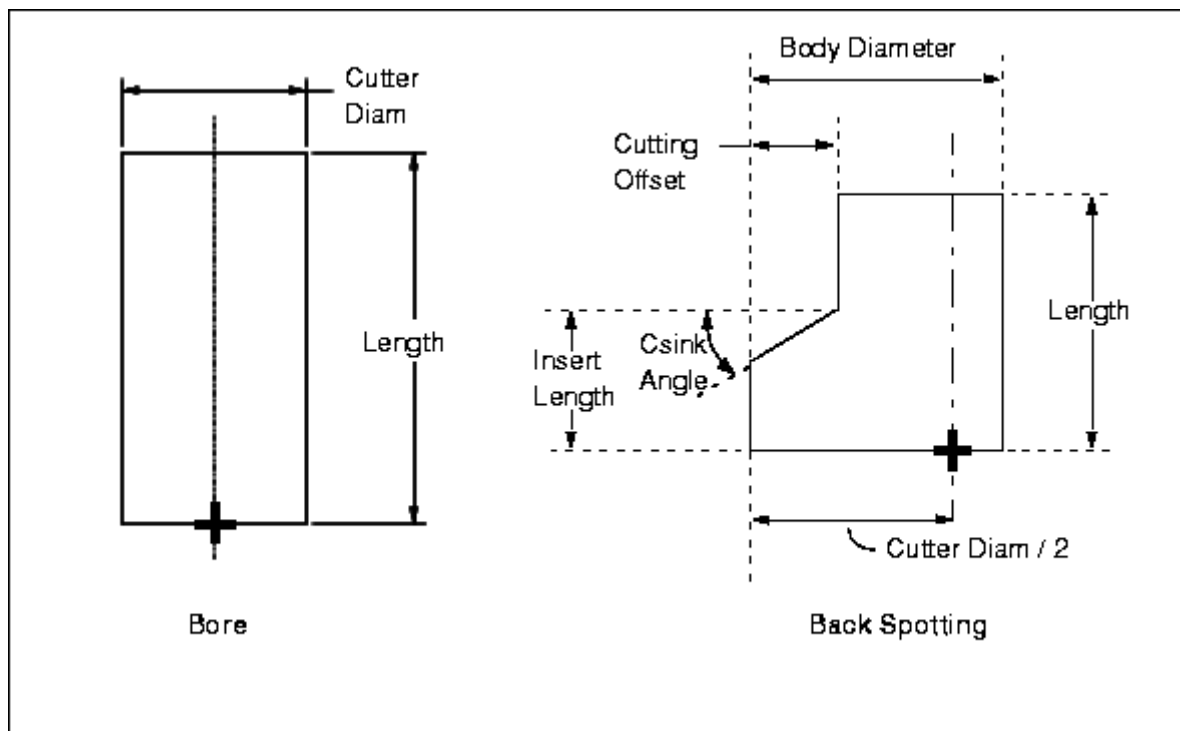
Groove, Contouring, and Auxiliary Tools



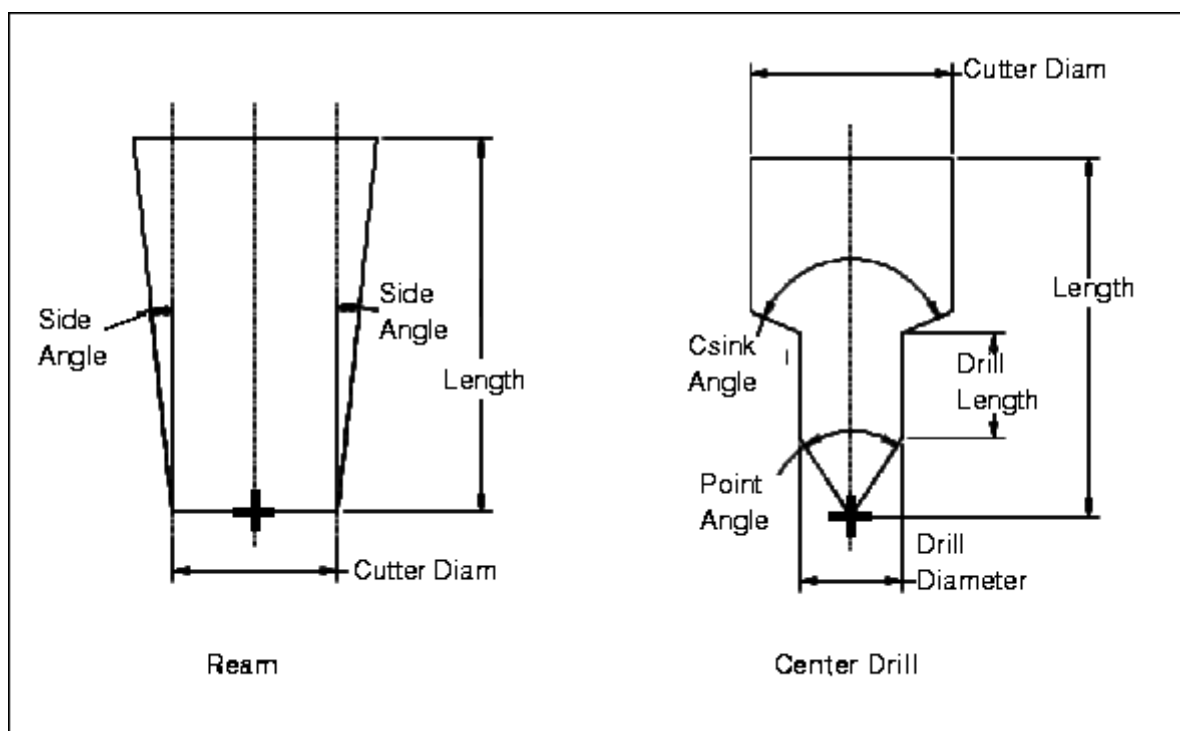
Holemaking Tools - Drill and Tap



Holemaking Tools - Countersink

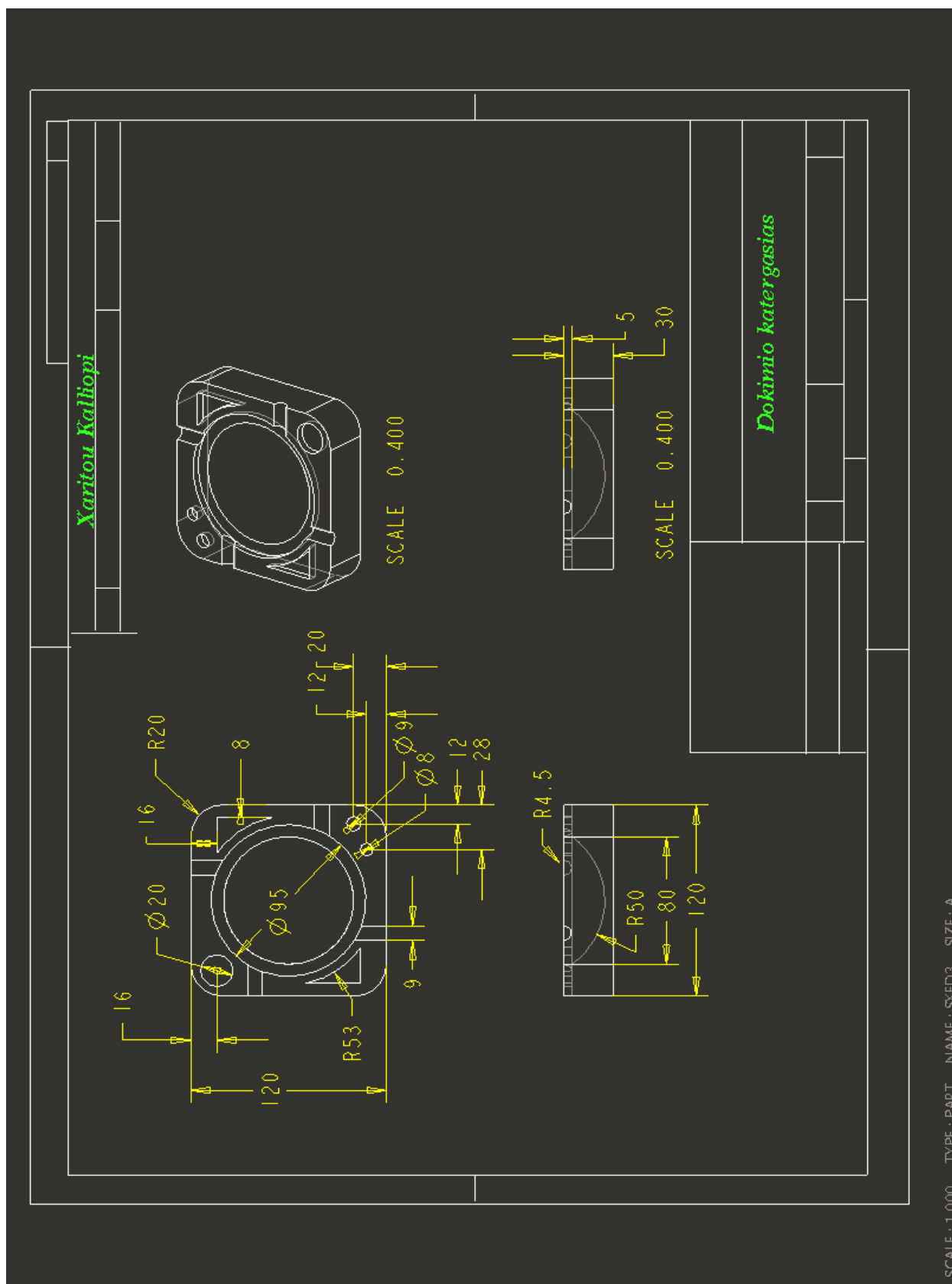


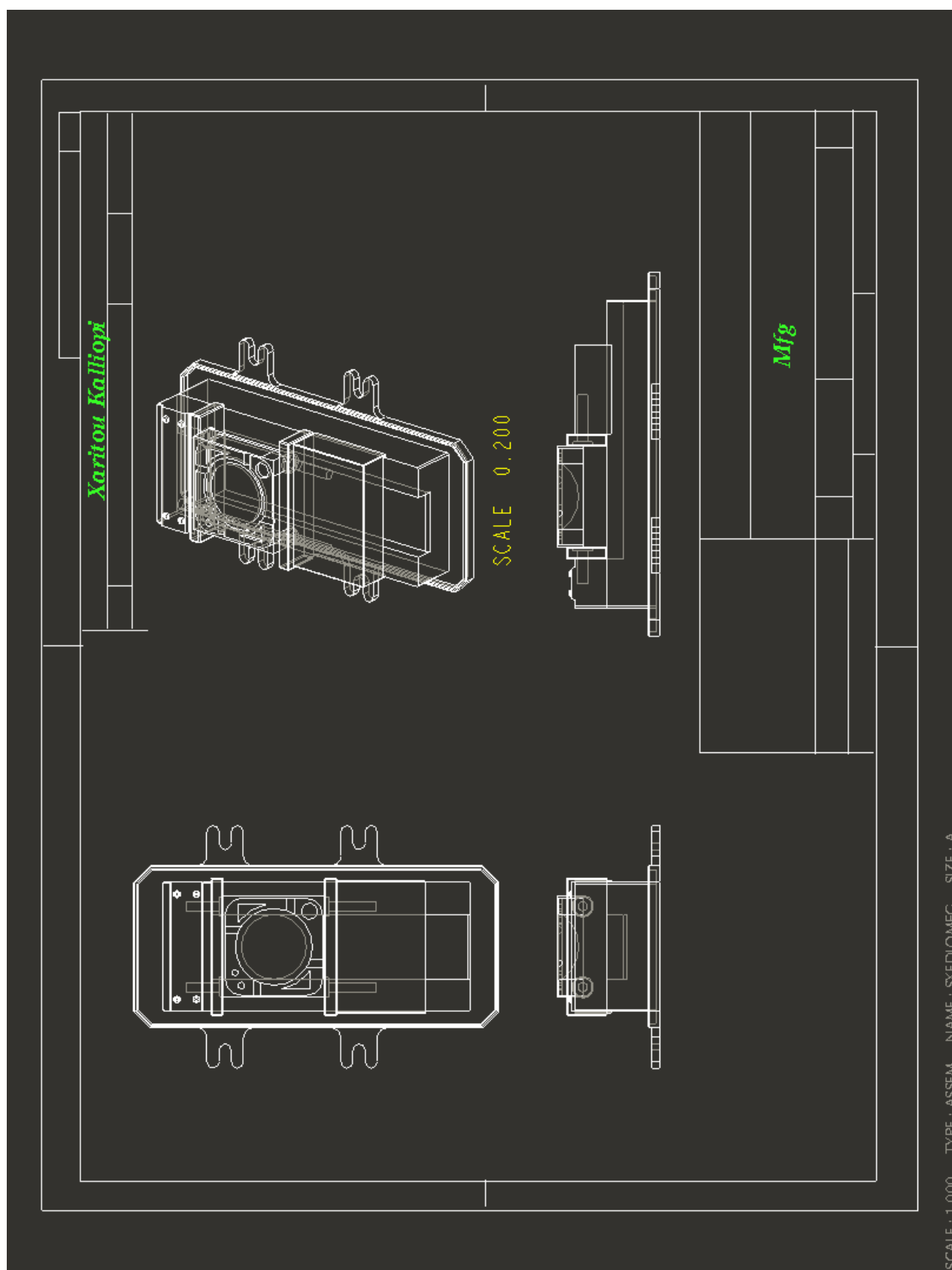
Holemaking Tools - Bore and Back Spotting



Holemaking Tools - Ream and Center Drill

## Παράρτημα 2 – Μηχανολογικά σχέδια







**Παράρτημα 3 – Φύλλο διαδικασιών**Φύλλο Διαδικασιών (Route Sheet)

Route Sheet				
Assembly Name : SXEDIOMFG				
Author : CHARITOIY KALLIOPI				
Seq. No.	Machine and Sequence Description	Rmvd Vol. (cu. mm)	Set up Time (min)	Run Time (min)
0010	MILL Face Milling	N/A	N/A	11.479
0020	MILL Face Milling	N/A	N/A	29.257
0030	MILL Profile Milling	45852	N/A	9.9462
0040	MILL Profile Milling	52945	N/A	30.319
0050	MILL Hølemaking	N/A	N/A	0.44
0060	MILL Hølemaking	N/A	N/A	0.44
0070	MILL Volume Milling	1750	N/A	0.72404
0080	MILL Volume Milling	1885	N/A	1.6441
0090	MILL PLUNGE_MILLING	N/A	N/A	56.225
00100	MILL Pocket Milling	N/A	N/A	18.592
00110	MILL Trajectory Milling	N/A	N/A	1.028
00120	MILL Trajectory Milling	N/A	N/A	0.73824
00130	MILL Volume Milling	N/A	N/A	180.08
00140	MILL Surface Milling	N/A	N/A	28.544
		Total Rmvd Volume (cu. mm)	Total Set up Time (min)	Total Run Time (min)
		1.0243e+05	0	369.46