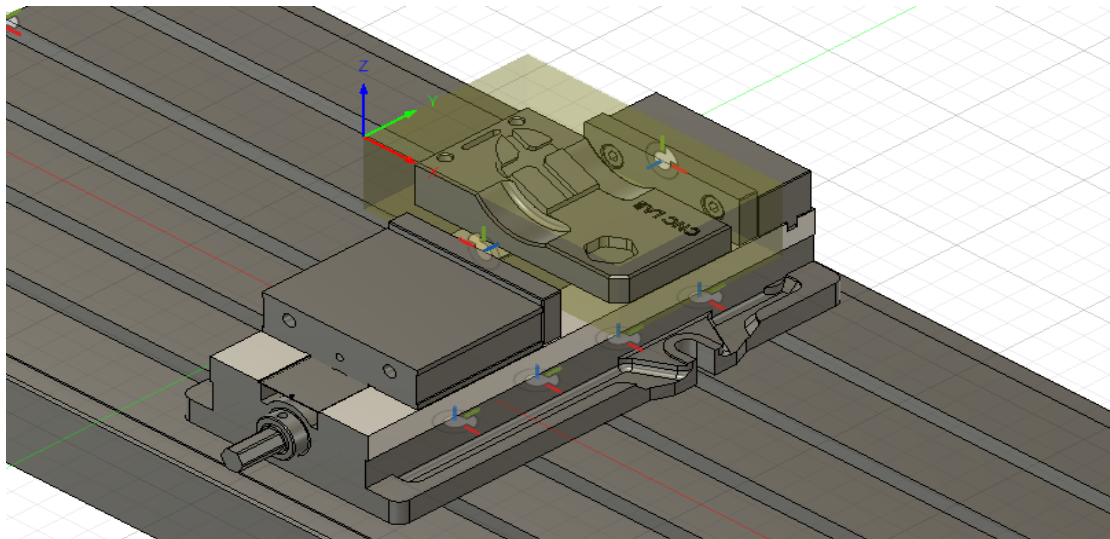




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC ΜΕ
ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ CAM ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΣΤΟ FUSION 360**



ΦΟΙΤΗΤΕΣ: ΠΑΠΠΑΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΡΑΦΑΗΛ ΑΜ: 7454
ΘΕΟΔΟΣΙΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΑΜ: 7270

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΙΡΚΑΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ ΛΕΚΤΟΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2022

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Φοιτητές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι Φοιτητές

Παππάς Σπυριδων-Ραφαήλ



.....
(Υπογραφή)

Θεοδοσίου Ελευθέριος



.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με τις εργαλειομηχανές CNC καθώς και τον προγραμματισμό τους. Ο πρώτος στόχος της συγκεκριμένης πτυχιακής είναι η εξοικείωση ενός αρχάριου με το λογισμικό Fusion 360 της εταιρείας Autodesk, που αποτελεί ένα πρόγραμμα που επιτρέπει την διαχείριση πολλών φάσεων ενός μοντέλου. Εμείς ασχοληθήκαμε με το Manufacture που είναι η πλατφόρμα ψηφιακής καθοδηγήσει εντολών κατεργασίας. Ο δεύτερος στόχος είναι να γίνει κατανοητή η χρήση της διαδικασίας του προγραμματισμού των εντολών που απαιτούνται για την παράγωγη του τελικού κώδικα από το περιβάλλον CAM.

Συγκεκριμένα:

Στο **1^ο κεφάλαιο** πραγματοποιείται μια σύντομη ιστορική ανάδρομη για τις εργαλειομηχανές από την πρώτη εμφάνιση τους και φτάνουμε στις εργαλειομηχανές του σήμερα , στην συνέχεια γίνεται μια μικρή αναφορά για τις κατεργασίες που χρησιμοποιούνται όπως το φρεζάρισμα και η τόννευση και τέλος περιγράφεται ο προγραμματισμός μιας εργαλειομηχανής με την χρήση κώδικα καθώς και οι εντολές προγραμματισμού G και οι εντολές προγραμματισμού M.

Το **2^ο κεφάλαιο** αποτελεί έναν αναλυτικό και ταυτόχρονα γρήγορο οδηγό για την περιήγηση στο λογισμικό του Fusion360 αρχικά αναφέρονται οι εντολές κατεργασίας 2D-3D-οπών και Multi-axis, στην συνέχεια αναφέρονται τα κοπτικά εργαλεία και η δημιουργία κοπτικών εργαλείων καθώς και οι συσκευές συγκράτησης, τέλος περιγράφεται η προσομοίωση της κατεργασίας και η δημιουργία κώδικα.

Στο **3^ο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η διαδικασία του προγραμματισμού των εντολών για την παράγωγη του τελικού κώδικα, αρχικά εξηγείται η διαδικασία της δημιουργίας του προπλάσματος, στην συνέχεια περιγράφεται ο προγραμματισμός των εντολών κατεργασίας και τέλος πραγματοποιείται η προσομοίωση των κατεργασιών και η εξαγωγή του κώδικα.

Στο **4^ο κεφάλαιο** παρουσιάζεται ο εργαστηριακός εξοπλισμός που κατέχουμε όπως η εργαλειομηχανή και το ρόλοι μηδενισμού, στην συνέχεια αναφέρεται το υλικό κατεργασίας και τέλος αναλύονται οι απαραίτητες ενέργειες για να η κατεργασία.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	- 1 -
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	- 1 -
1.2 Εργαλειομηχανές σήμερα.....	- 5 -
1.3 Κατεργασίες	- 7 -
1.3.1 Φρεζάρισμα.....	- 7 -
1.3.2 Τόρνευση	- 8 -
1.4 Προγραμματισμός με κώδικα	- 10 -
1.4.1 Εντολές προγραμματισμού G.....	- 10 -
1.4.2 Εντολές προγραμματισμού M.....	- 13 -
1.4.3 Δομή ενός κώδικα	- 15 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	- 17 -
2.1 Εισαγωγή στο πρόγραμμα.....	- 17 -
2.2 Εντολές κατεργασίας στο Fusion 360	- 20 -
2.3.1 Εντολές κατεργασίας 2D	- 21 -
2.3.2 Εντολές κατεργασίας 3D	- 23 -
2.3.3 Εντολές κατεργασίας οπών	- 27 -
2.3.4 Εντολές κατεργασίας Multi-axis	- 28 -
2.3 Κοπτικά εργαλεία.....	- 29 -
2.4.1 Δημιουργία κοπτικών εργαλείων	- 33 -
2.4 Συσκευές συγκράτησης	- 35 -
2.5 Προσομοίωση της κατεργασίας (simulation)	- 35 -
2.6 Δημιουργία κώδικα	- 37 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	- 39 -
3.1 Δημιουργία προπλάσματος.....	- 39 -
3.2 Προγραμματισμός κατεργασιών.....	- 41 -
3.2.1. 1 ^η φάση κατεργασιών	- 41 -
3.2.2. 2 ^η Φάση Κατεργασιών.....	- 86 -
3.3 Προσομοίωση κατεργασιών.....	- 95 -
3.4 Εξαγωγή κώδικά.....	- 97 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	- 100 -
4.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός	- 100 -
4.2 Υλικό κατεργασίας	- 103 -
4.3 Απαραίτητες ενέργειες για την κατεργασία.....	- 103 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Ιστορική αναδρομή

Από την εποχή της Αναγέννησης έως και τη Βιομηχανική Επανάσταση ένας πολύ μεγάλος αριθμός ανακαλύψεων έχτισαν διαδοχικά τις βάσεις για τον τεχνολογικό πολιτισμό του σήμερα, με συγκεκριμένες ανακαλύψεις το μεγαλύτερο μέρος αφορά αναπτύξεις της επεξεργασίας-κατεργασίας των υλικών, την δημιουργία εργαλείων και την υλοποίηση νέων μεθόδων και τεχνικών στην παραγωγή των προϊόντων. Ο Leonardo da Vinci που έζησε την περίοδο της Αναγέννησης είχε σχεδιάσει αρκετές εργαλειομηχανές αλλά οι περισσότερες από αυτές δεν είχαν κατασκευαστεί λόγω τεχνικών εμποδίων. Πιο κοντινά σχέδια του Leonardo da Vinci στις μηχανουργικές κατεργασίες παρουσιάζουν μηχανές κοπής σπειρώματος, το υδραυλικό πριόνι και το χειροκίνητο δρόπανο.



Εικόνα 1.1 : Υδραυλικό πριόνι του Leonardo da Vinci.

Το υδραυλικό πριόνι του Leonardo da Vinci δούλευε με υδραυλική ενέργεια χάρη σε ένα πολύπλοκο σύστημα ξύλινων γριναζιών που συνδυάζονταν με διωστήρα και στο στροφαλοφόρο άξονα φτερωτή που κινείται με τη ροή του νερού και μετέφερε την κίνηση στο πριόνι, το τραπέζι μεταφοράς του κορμού το οποίο συγχρονίζει και προχωρά βηματικά σε σχέση με το χρόνο με αυτό τον τρόπο η λειτουργία του πριονιού γινόταν όσο το δυνατόν αυτόματη.

Ο μοναχός Charles Plumier το 1701 δημοσίευσε το σύγγραμμά του, που ήταν το πρώτο σύγγραμμα που απεικόνισε με λεπτομέρειες την τεχνολογία της τόννευσης, αυτή η εργασία ήταν εξαιρετικά σημαντική καθώς την εποχή εκείνη η τόννευση ήταν τέχνη που την ακολουθούσε η ανταγωνιστικότητα και η μυστικοπάθεια.

Ο Henry Hindley σχεδίασε και κατασκεύασε το 1769 ένα τόρνο κοπής σπειρώματος ο οποίος χρησιμοποιούσε γρανάζια που του έδιναν τη δυνατότητα αλλάζοντας τη σειρά εμπλοκής τους να κατεργάζεται σπειρώματα διαφορετικού βήματος ενώ βγάζοντας ένα γρανάζι μπορούσε να κατεργάζεται αριστερόστροφα σπειρώματα.

Το 1775 ο Jesse Ramsden εφεύρε ένα πιο σύγχρονο τόρνο κοπή σπειρώματος στο οποίο η περιστροφική και μεταφορική κίνηση συγχρονίστηκαν, εμφανίζεται να είναι ο πρώτος που χρησιμοποίησε οδηγώ κοχλίας. Ο τόρνος Jesse Ramsden εμπεριείχε ολισθηρότητα και μηχανισμό εναλλαγής γριναζιών.

Η βιομηχανική επανάσταση οφείλεται κυρίως στην εφεύρεση της ατμομηχανής από τους Papin Newcomen και τελικά τον Σκωτσέζο James Watt, η δύναμη της ατμομηχανής ήταν σημαντική για την κίνηση των εργαλειομηχανών και παρείχε τη δυνατότητα στον John Wilkinson να κατασκευάσει μία οριζόντια εργαλειομηχανή το 1775 για boring και να παράγει έμβολα για μηχανές με μεγάλη ακρίβεια.

Το 1797 ο Henry Maudslay κατασκεύασε ένα τόρνο με κοχλίες που εμπεριείχε τέσσερα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά των επόμενων πιο σύγχρονων τόρνων :

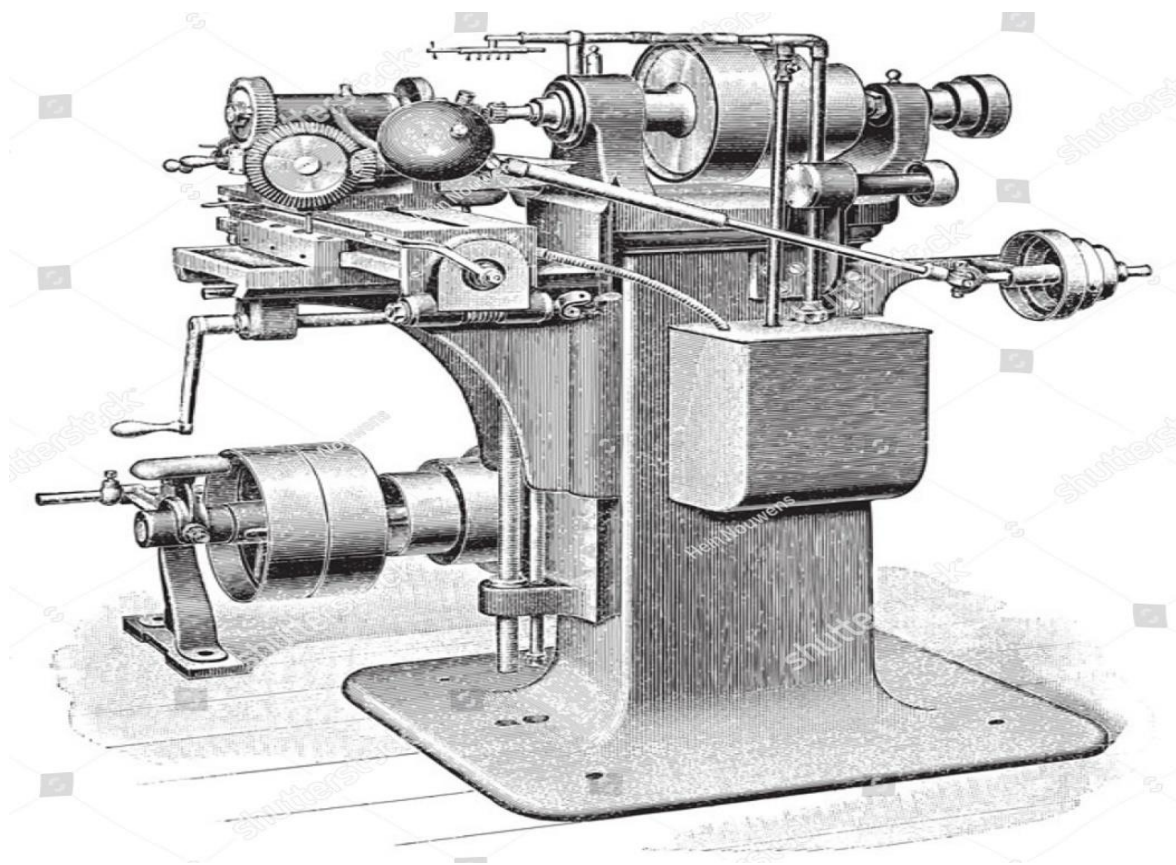
- Στιβαρή σιδηροκατασκευή του πλαισίου
- Επίπεδους γραμμικούς οδηγούς για τη μετακίνηση του εργαλειοφορείου.
- Εναλλασσόμενος οδοντωτός τροχούς
- και μηχανισμό προώθησης με κοχλίωση.



Εικόνα 1.2 : Τόρνος του Henry Maudslay.

Τον 19^ο αιώνα η ανάγκη για μεγαλύτερη ακρίβεια, παραγωγικότητα και επαναληψιμότητα στην κατασκευή εξαρτημάτων και γενικά κατασκευών οδήγησαν τους μαθητές του Maudslay σε νέες ανακαλύψεις. Ο Roberts εφηύρε την πλάνη, ο Witworth την εργαλειομηχανή κοπής γραναζιών και ο Nasmyth τη λείανση με λειαντικό δίσκο.

Το 1862 ο J. R. Brown προσκόμισε την πρώτη γενικού τύπου φρέζα με διαιρέτη, τραπέζι με κάθετη μετακίνηση και εγκάρσια κίνηση με τη βοήθεια συνδέσμου cardan που επέτρεπε τη σύνδεση και μεταφορά της περιστροφικής κίνησης σε οποιοδήποτε διεύθυνση. Η πρώτη τύπου εργαλειομηχανή λείανσης παρουσιάστηκε από τον Brown και Sharpe το 1870.

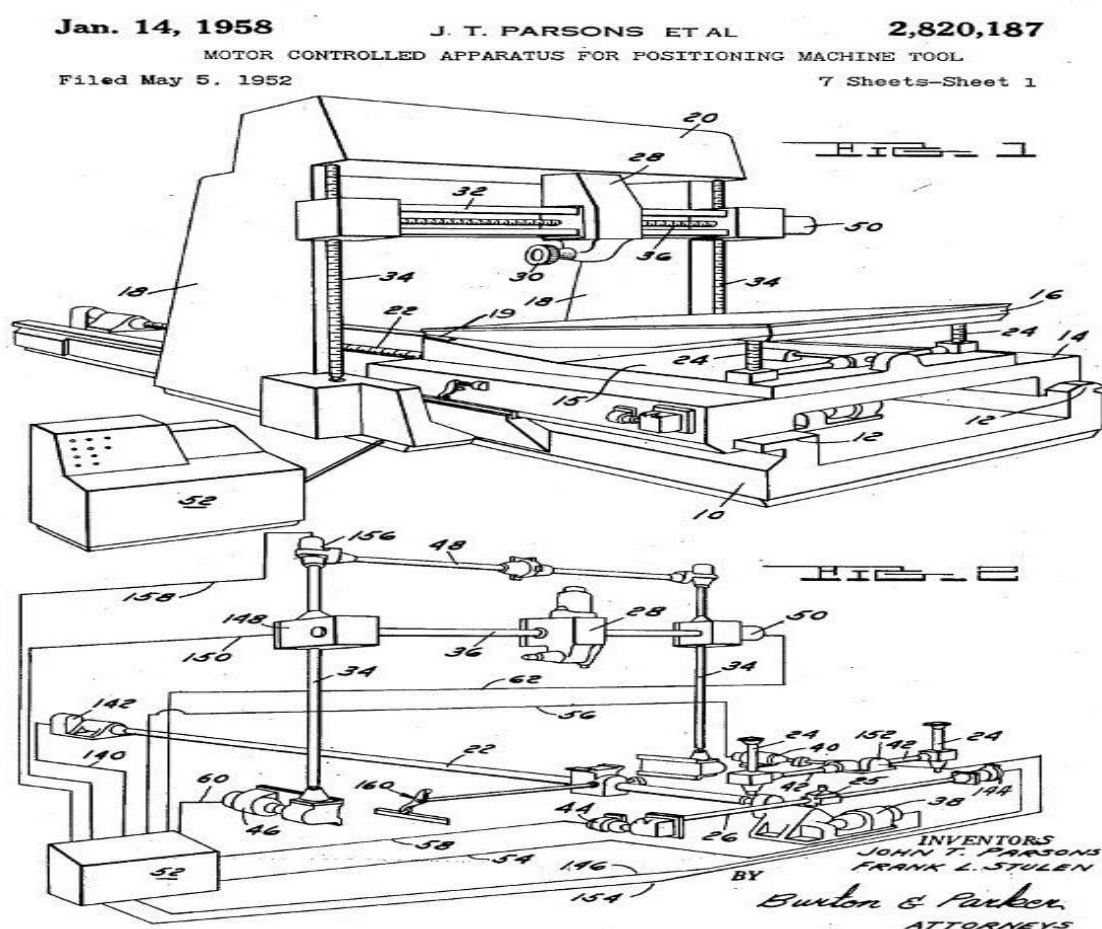


Εικόνα 1.3 : Φρέζα του J.R.Brown.

Ο 20^{ος} αιώνας ταυτίστηκε με την ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας από το 1908 και μετά, όταν η Ford άρχισε μαζικά να παρασκευάζει αυτοκίνητα. Ο νέος αυτός τρόπος μαζικής παραγωγής σε συνδυασμό με υψηλές απαιτήσεις για διαστατική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής οδήγησε σε σημαντικό βαθμό στην εξέλιξη των εργαλειομηχανών ακόμη και μέχρι το τέλος του προηγούμενου αιώνα. Τα πιο σημαντικά γεγονότα που ακολούθησαν την εξέλιξη των εργαλειομηχανών εκείνη την περίοδο ήταν:

- Σταδιακή αντικατάσταση των ατμομηχανών με ηλεκτρικούς κινητήρες διαδικασία που ξεκίνησε γύρω στο 1920.
- Ο αριθμητικός έλεγχος των άλλων μηχανών.

Η εισαγωγή του αριθμητικού ελέγχου έγινε τη δεκαετία 1970 έως 1980 όταν ο μικροεπεξεργαστής έγινε ο εγκέφαλος του μηχανισμού ελέγχου και έτσι αναπτύχθηκε πλήρως η έννοια CNC. Τη δεκαετία του 1990 η ανοιχτή αρχιτεκτονική των καθοδηγήσεων των εργαλειομηχανών, έδωσε στις εργαλειομηχανές την δυνατότητα να εισαχθούν σε ευφείς δομές συστημάτων βιομηχανικής παραγωγής.



Εικόνα 1.4

1.2 Εργαλειομηχανές σήμερα

Με την είσοδο πλέον της ψηφιακής καθοδήγησης ακόμα και σε μικρά μηχανουργεία, από την απλή διάτρηση έως την πιο πολύπλοκη επεξεργασία ανάγλυφων επιφανειών χρησιμοποιούνται σήμερα απλές και φθηνές ή σύνθετες και ακριβές εργαλειομηχανές CNC. Με την εξέλιξη αυτή οι δομές των μηχανουργείων την εικοσαετία αυτή εξελίχθηκαν ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των νέων εργαλειομηχανών αλλά και τις παραγωγικές ανάγκες του σημερινού κόσμου.

Η συνεργασία των μηχανουργικών κατεργασιών με NC και CNC μηχανές με άλλες λειτουργίες που υποστηρίζονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή, οδήγησαν στη επινόηση των ολοκληρωμένων με υπολογιστή συστημάτων παραγωγής (CIM). Έτσι από τη επινόηση ενός καινούργιου προϊόντος αυτό σχεδιάζεται, αναπτύσσεται και βελτιστοποιείται μέσω των συστημάτων ανάπτυξης CAE (Computer Aided engineering).

Που περιέχουν συστήματα σχεδίασης CAD και προγράμματα υπολογισμών αντοχής με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Κατόπιν ο προγραμματισμός των εργασιών γίνεται σε συστήματα CAM λαμβάνοντας υπόψη τεχνολογικές παραμέτρους των εργασιών αυτών.



Εικόνα 1.5

Τα σύγχρονα μηχανουργεία εντάσσουν της NC και CNC εργαλειομηχανές σε ακόμα πιο σύνθετες δομές που ονομάζονται ευέλικτα συστήματα παραγωγής. Τα συστήματα αυτά ενσωματώνουν ηλεκτρονικό σχεδιασμό της παραγωγής, αυτόματες μεταφορικές διατάξεις και αποθήκες, βιομηχανικά ρομπότ και διατάξεις ποιοτικού ελέγχου. Όλα αυτά χειρίζονται και εποπτεύονται από έμπειρους μηχανικούς με τη βοήθεια δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών. Με τον τρόπο αυτόν η παραγωγή μετατρέπεται σε ελεγχόμενη και απλοποιημένη διαδικασία.

Η χρήση της τεχνολογίας λογισμικού και υπολογιστών με στοιχεία τεχνικής νοημοσύνης οδηγεί στην πρόωρη έννοια του αυτοματοποιημένου εργοστασίου στο οποίο η συμμετοχή του ανθρώπινου συντελεστή στη λήψη αποφάσεων και στην καθοδήγηση μειώνεται ακόμα περισσότερο.

Το κέντρο κατεργασίας σήμερα η πιο κοινή εργαλειομηχανή, συνδυάζοντας μια απλή φρέζα με ψηφιακή καθοδήγηση CNC μαζί με αυτόματη αλλαγή εργαλείων. Η εργαλειομηχανή αυτή καθιστά εφικτές κατεργασίες όπως διάτρηση, φρεζάρισμα, βαθιά διάτρηση και σπειροτόμηση. Οι πιο σύγχρονες εργαλειομηχανές στην κατηγορία αυτή διαθέτουν δυνατότητες φρεζαρίσματος, διάτρησης αλλά και τόννευσης ενώ τα τελευταία χρόνια παντρεύουν τη διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης με τις κατεργασίες κοπής. Έτσι οι σύγχρονες εργαλειομηχανές δημιουργούν με τρισδιάστατη εκτύπωση πολύπλοκα αντικείμενα τα οποία κατεργάζονται οι ίδιες, έχοντας ενσωματωμένες τις δυνατότητες που φρεζαρίσματος πέντε αξόνων.



Εικόνα 1.6

Λιγότερα πρωτοπόρες εργαλειομηχανές είναι τα κέντρα τόννευσης που διαθέτουν εκτός από την περιστροφή του τεμαχίου και τη μετατόπιση του εργαλείου ένα επιπλέον άξονα C και περιστρεφόμενα εργαλεία τοποθετημένος σε πύργο. Οι υψηλές απαιτήσεις σε χρόνο και ακρίβεια σε πολύπλοκα τεμάχια αφενός και η ισχύς των καθοδηγήσεων από την άλλη μαζί με την δημιουργικότητα των μηχανικών, έφεραν στην παρούσα δεκαετία όπως ήδη αναφέρθηκε την έννοια των multi-tasking μηχανών, δηλαδή εκείνων που ικανοποιούσαν ταυτόχρονα πολλούς ρόλους με δυνατότητες για διάτρηση, φρεζάρισμα, τόννευση και πολύ πρόσφατα και λείανση.



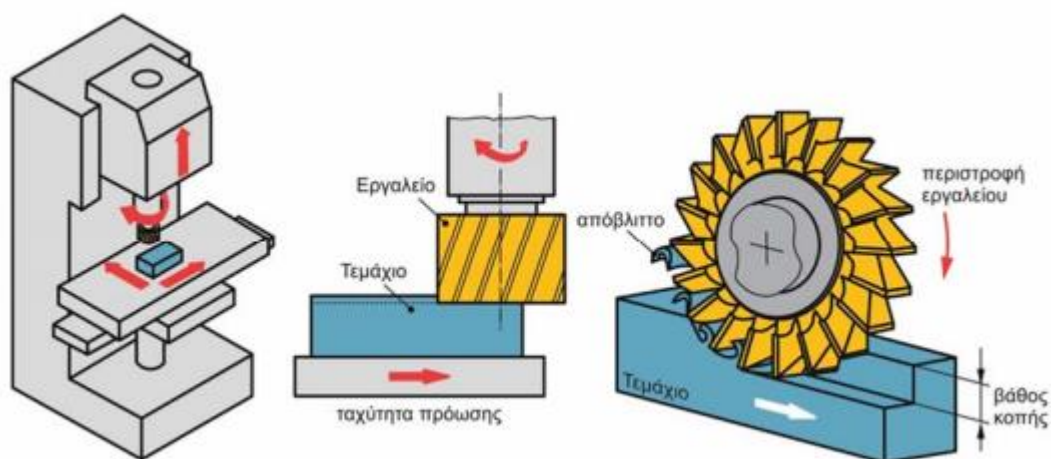
Εικόνα 1.7

1.3 Κατεργασίες

1.3.1 Φρεζάρισμα

Με φρεζάρισμα κατεργάζονται τεμάχια από πάρα πολλά υλικά όπως χάλυβας χυτοσίδηρος και σύνθετα υλικά, με επίπεδες επιφάνειες ή καμπύλες επιφάνειες εσοχές, αυλάκια ακόμα και οδοντωτοί τροχοί.

Στο φρεζάρισμα η κοπή πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου κοπτικού εργαλείου. Το εργαλείο αυτό διαθέτει πολλές κοπτικές ακμές διατεταγμένες σε κύκλο ενώ για να μπορεί να εισέρχεται στο κομμάτι το οποίο κατεργαζόμαστε, οι κοπτικές ακμές έχουν τη μορφή του σφήνα που έχει και το εργαλείο τórνευσης.



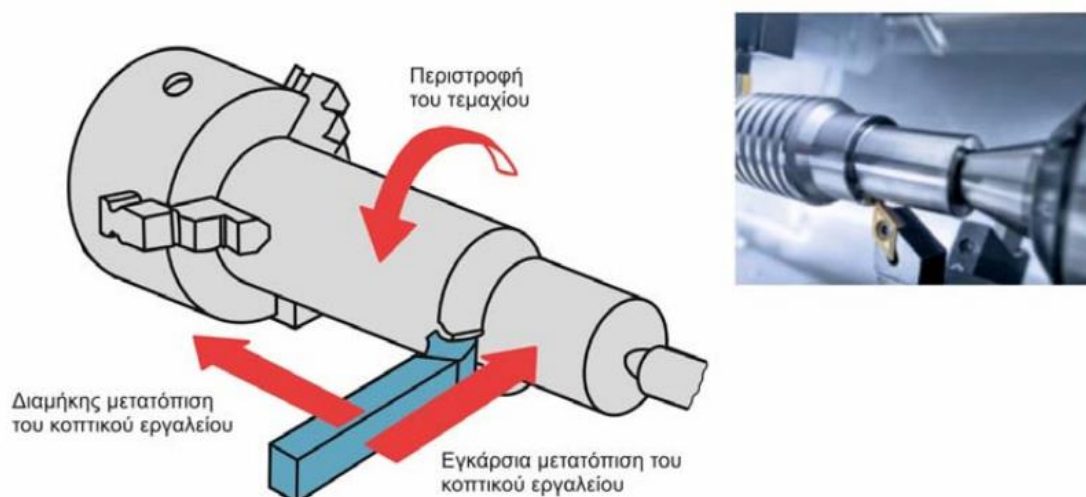
Εικόνα 1.8

Η Περιστροφή του κοπτικού εργαλείου αποτελεί και την κυρία κίνηση κοπής. Η γωνιακή ταχύτητα της περιστροφής αυτής είναι σημαντική παράμετρος της ταχύτητας κοπής για αυτό και επιλέγεται σε συνδυασμό με το κατεργασμένο υλικό του κοπτικού εργαλείου καθώς και την κατηγορία του φρεζαρίσματος. Στη συνέχεια της κοπής το κάθε κατεργαζόμενο κομμάτι το οποίο είναι τοποθετημένο στο τραπέζι της εργαλειομηχανής μετατοπίζεται με προκαθορισμένο αριθμό που είναι η ταχύτητα πρόωσης.

Κατά τη διάρκεια της κοπής τα κοπτικά δόντια μιας φρέζας εισέρχονται και εξέρχονται το κάθε ένα από το κατεργαζόμενο τεμάχιο μέσα σε ένα μικρό χρονικό διάστημα της πλήρους περιστροφής του εργαλείου. Αυτό έχει ως συνέπεια τα κοπτικά δόντια να προφταίνουν να απαγάγουν θερμότητα στο διάστημα που δεν κόβουν και έτσι να μην καταπονούνται θερμικά σε αντίθεση με το εργαλείο της τórνευσης το οποίο εκτελεί συνέχεια κοπή. Η κοπή για αυτό το λόγο στο φρεζάρισμα λέγεται διακοπτόμενη και ενώ ευνοεί το κοπτικό εργαλείο όσον αφορά την ανάπτυξη των θερμοκρασιών σε αυτό η απότομη εμπλοκή του εργαλείου με το υπό κατεργασία τεμάχιο έχει ως συνέπεια να καταπονούν το εργαλείο μεγάλα φορτία αυξάνοντας τον κίνδυνο αστοχίας ανάλογα την αντοχή του υλικού.

1.3.2 Τόρνευση

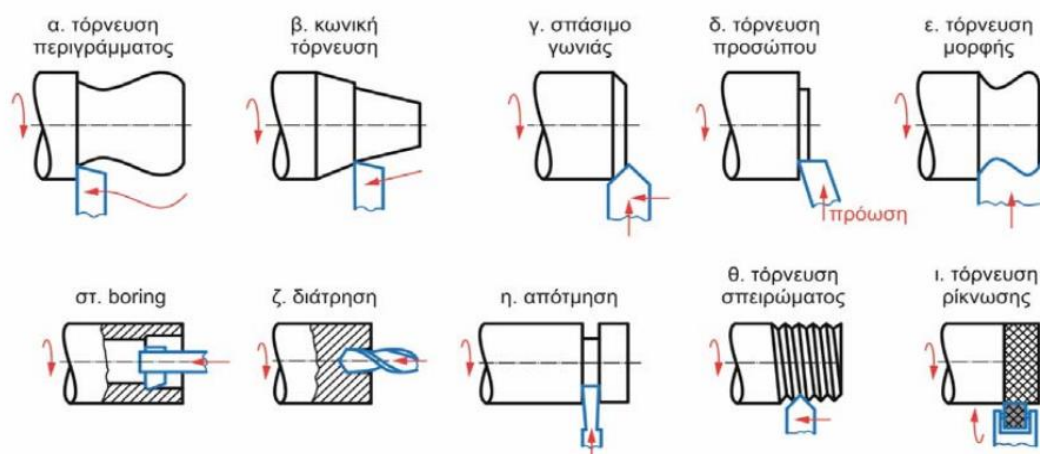
Με τórνευση κατεργάζονται τεμάχια συμμετρικά εκ περιστροφής κατά κανόνα με κυκλική διατομή. Κατά την τórνευση το κατεργαζόμενο τεμάχιο περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του όπου συγκρατείται από τον σφιγκτήρα (τσोक) του τórνου. Με αυτό τον τρόπο συγκρούεται με το κοπτικό εργαλείο το οποίο έχει δυνατότητα εγκάρσιας και διαμήκου μετακίνησης και έτσι αφαιρείται υλικό από το κατεργαζόμενο τεμάχιο.



Εικόνα 1.9

Οι διάφορες μορφές που μπορεί να πάρει το κατεργαζόμενο τεμάχιο με την τόννευση απαιτούν διαφορετικό συνδυασμό κινήσεων όπως και επιλογή του κατάλληλου κοπτικού εργαλείου. Το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιείται εξαρτάται από το είδος της παραγόμενης επιφάνειας αλλά και από το εάν η τόννευση είναι εξωτερική ή εσωτερική στο κομμάτι.

- **Απλή τόννευση:** πρόκειται για μία διαμήκη τόννευση γενικού περιγράμματος που περιλαμβάνει ευθείες η τόξα αλλά και την κωνική τόννευση, όπως και την τόννευση για σπάσιμο γωνίας και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κυλινδρικών, κωνικών ή και διαφόρων μορφών τεμαχίων όπως άξονες και άτρακτοι.
- **Τόννευση προσώπου:** είναι εγκάρσια τόννευση στο πρόσωπό του τεμαχίου με στόχο τη δημιουργία επίπεδης επιφάνειας κάθετη στον άξονα.
- **Τόννευση μορφής:** είναι τόννευση με εργαλείο μορφής που αποτυπώνει τη μορφή του στο κατεργαζόμενο τεμάχιο. Χρησιμοποιείται για κατεργασίες ειδικών λειτουργιών μορφών ή και για αισθητικούς λόγους.
- **Boring:** έχει στόχο τη δημιουργία οπών ή κυλινδρικών κοιλοτήτων που έχουν κατεργαστεί με πρότερη κατεργασία ή τη δημιουργία εσωτερικών εκ περιστροφής αυλακώσεων.
- **Διάτρηση:** είναι διάτρηση οπής η οποία στη συνέχεια μπορεί να ακολουθηθεί από boring ώστε να διερευνηθεί ή να βελτιωθεί η ποιότητα της επιφάνειας.
- **Απότμηση:** πρόκειται για αποκοπή του έτοιμου κατεργασμένου τεμαχίου ώστε πιθανά να επαναληφθεί η διαδικασία σε νέο κατεργαζόμενο τεμάχιο.
- **Σπειροτόμηση:** η κοπή εσωτερικού ή εξωτερικού σπειρώματος.
- **Τόννευση ρίκνωσης:** η κατεργασία δημιουργίας ρίκνωσης σε κυλινδρικές επιφάνειες τεμαχίων για την αποφυγή της ολίσθησης, στις θέσεις εκείνες που χρησιμοποιούνται ως λαβές και χειριστήρια.



Εικόνα 1.10 : Μέθοδοι τόννευσης.

1.4 Προγραμματισμός με κώδικα

Το πρόγραμμα καθοδήγησης αποτελείται από ξεχωριστά block πληροφοριών, οι εντολές αυτές αναλύονται στην καθοδήγηση της μηχανής η οποία δίνει τις αντίστοιχες εντολές στους κινητήρες των αξόνων της εργαλειομηχανής ώστε να πραγματοποιηθούν οι προβλεπόμενες μετακινήσεις.

Βασικές εντολές-κώδικες είναι οι εντολές G και M. Οι εντολές αυτές συντάσσονται με προκαθορισμένο τρόπο και εισέρχονται στο συνολικό πρόγραμμα καθοδήγησης, η είσοδος των εντολών στην καθοδήγηση της εργαλειομηχανής μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως :

- Είσοδος εντολών με το χέρι.
- Είσοδος με διάτρητα δελτία.
- Είσοδος με μαγνητική ταινία.
- Είσοδος με διάτρητη ταινία.
- Είσοδος με δισκέτα.

Σήμερα οι περισσότερες σύγχρονες εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση είναι εφοδιασμένες εκτός από τη βασική μονάδα ελέγχου με πληκτρολόγιο με οθόνες αφής και θύρες επικοινωνίας με υπολογιστή συνήθως USB.

1.4.1 Εντολές προγραμματισμού G

Οι βασικές εντολές προγραμματισμού που εκτελούν κινήσεις ή ορίζουν διαδικασίες είναι οι εντολές G. Σε αυτές ξεχωρίζουν οι εντολές G00, G01, G03 για ευθεία και κυκλική κίνηση. Στην περίπτωση της μετακίνησης με ταυτόχρονη κοπή η σύνταξη της εντολής προστίθεται και η τιμή της ταχύτητας της πρόωσης συνοδευόμενη από τον χαρακτήρα F.

Οι μετακινήσεις αυτές στις εργαλειομηχανές στην ψηφιακή καθοδήγηση πραγματοποιούνται με τη βοήθεια βιωματικών κινητήρων και παρεμβολών ανάμεσα σε διαδοχικές θέσεις στο χώρο, έτσι κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του κοπτικού εργαλείου στην επιθυμητή θέση, οι κατάλληλοι άξονες ξεκινούν ταυτόχρονα την κίνηση της αμέσως μόλις ενεργοποιηθούν από την εκτέλεση ενός προγράμματος καθοδήγησης.

Προκειμένου η πορεία του εργαλείου να αποκλίνει όσο το δυνατόν λιγότερο από την επιθυμητή πορεία, απαιτείται ο συντονισμός της κίνησης όλων των αξόνων ώστε η προγραμματισμένη πορεία να εκτελείται χωρίς αποκλίσεις. Ο συγχρονισμός αυτός επιτυγχάνεται από μία ηλεκτρονική συσκευή που ενσωματώνεται στη μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής και ονομάζεται παρεμβολεας.

Υπάρχουν πολλά είδη παρεμβολών που ενσωματώνονται στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές και οι διάφορες τους προέρχεται κυρίως από το είδος των κινήσεων που μπορούν να συντονίσουν με ακρίβεια. Είναι προφανές ότι ένας τόννος ψηφιακής καθοδήγησης έχει μικρότερες ανάγκες παρεμβολής από ένα κέντρο κατεργασίας πολλών αξόνων, οι κατεργασίες όμως των παρεμβολών βασίζονται στη μαθηματική προσέγγιση που ακολουθούν προκειμένου να επιτύχουν τις μετατοπίσεις. Με την γραμμική παρεμβολή ο άξονας της ατράκτου κινείται με στοιχειώδεις ορθογώνιες κινήσεις από την αρχή έως το τέλος της διαδρομής.

Η κυκλική παρεμβολή περιορίζεται στο κύριο επίπεδο της επιφάνειας εργασίας, σε αυτή την περίπτωση παρεμβολής είναι αδύνατη η συμμετοχή του περιστροφικού άξονα κατεργασίας της εργαλειομηχανής. Επίσης για παρεμβολή στο χώρο που απαιτείται η συνδυασμένη κίνηση τριών ή περισσότερων κατεργασίας αυτός ο τρόπος παρεμβολής δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Όταν όμως σε κάποια τροχιά του κοπτικού εργαλείου που ανήκει εντελώς σε κάποιο από τα επίπεδα XY, XZ ή YZ περιέχονται κύκλοι, ημικύκλια ή τόξα, η παρεμβολή είναι κατά πολύ ευκολότερη. Μάλιστα για την περιγραφή της κίνησης απαιτούνται μόνο στιγμές των άκρων του τόξου, η ακτίνα του και το κέντρο.

Ενδιάμεσα σημεία μετακίνηση του κοπτικού εργαλείου περιγράφονται από τις εξισώσεις της κυκλικής παρεμβολής που βασίζονται σε γεωμετρικές σχέσεις.

Συμ.	Περιγραφή	Συμ.	Περιγραφή
G00	Ευθύγραμμη κίνηση χωρίς κοπή	G10	Κίνηση χωρίς κοπή, με μέγιστη ταχύτητα
G01	Ευθύγραμμη παρεμβολή	G11	Ευθύγραμμη παρεμβολή, πολική
G02	Κυκλική παρεμβολή κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού	G12	Κυκλική παρεμβολή κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού με πολικές συντεταγμένες
G03	Κυκλική παρεμβολή με αντίθετη από την φορά των δεικτών του ρολογιού	G13	Κυκλική παρεμβολή με αντίθετη από την φορά των δεικτών του ρολογιού με πολικές συντεταγμένες
G04	Καθυστέρηση με συγκεκριμένο χρόνο	G15	Κυκλική παρεμβολή με πολικές συντεταγμένες και ακαθόριστη πορεία

G05	Κυκλική παρεμβολή με καρτεσιανές συντεταγμένες και ακαθόριστη πορεία	G17	Καθορισμός επιπέδου εργασίας X-Y, άξονας εργαλείου Z
G06	Κυκλική εφαπτομενική προσέγγιση του κοπτικού στο κομμάτι	G18	Καθορισμός επιπέδου εργασίας Z-X, άξονας εργαλείου Y
G07	Κατεργασία σε έναν άξονα	G19	Καθορισμός επιπέδου εργασίας Y-Z, άξονας εργαλείου X

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η κωδικοποίηση των εντολών G . Εκτός από τις βασικές εντολές που διατηρούνται ίδιες σε όλες σχεδόν τις καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές αρκετές διαφοροποιούνται από καθοδήγηση σε καθοδήγηση για αυτό και ο προγραμματιστής κάθε εργαλειομηχανής θα πρέπει συνεχώς να συμβουλευεται το αντίστοιχο εγχειρίδιο της εργαλειομηχανής που χρησιμοποιεί

Συμ.	Περιγραφή	Συμ.	Περιγραφή
G20	Άξονα εργαλείου IV	G40	Ακύρωση αντιστάθμισης
G24	Λοξότμηση με ακτίνα R	G41	Αριστερή αντιστάθμιση
G25	Τοξοειδής κατεργασία με ακτίνα R	G42	Δεξιά αντιστάθμιση
G26	Εφαπτομενική προσέγγιση του κοπτικού στο κομμάτι	G43	Ισοστάθμιση μήκους κοπτικού 'θετική'
G27	Εφαπτομενική απομάκρυνση του κοπτικού στο κομμάτι	G44	Ισοστάθμιση μήκους κοπτικού 'αρνητική'
G28	Επιστροφή στο σημείο αναφοράς	G50	Προστασία διαγραφής προγράμματος
G29	Μεταφορά του πόλου στο τελευταίο σημείο	G54	Αλλαγή σημείου αναφοράς για επανάληψη λειτουργίας

G38	Διακοπή στροφών, διακοπή προγράμματος	G70	Αγγλοσαξονικό σύστημα
G39	Χαρακτηρισμός προγράμματος και κλήση δια του G79	G71	Μετρικό σύστημα

Συμ.	Περιγραφή	Συμ.	Περιγραφή
G72	Κλιμακοποίηση διαστάσεων	G79	Κλήση κύκλου
G73	Επανάληψη εργασίας σε συγκεκριμένη ακτίνα περιστροφής	G83	Σταδιακή - ραμφιστή διάτρηση
G74	Φρεζάρισμα σφηνότοπων	G84	Σπειροτόμηση οπής
G75	Φρεζάρισμα εσωτερικό ορθογωνίου σχήματος κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού	G90	Χρήση απόλυτων συντεταγμένων
G76	Φρεζάρισμα εσωτερικό ορθογωνίου σχήματος αντίθετο από την φορά των δεικτών του ρολογιού	G91	Χρήση σχετικών συντεταγμένων
G77	Κυκλικό εσωτερικό φρεζάρισμα κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού	G98	Ορισμός υποπρογράμματος
G78	Κυκλικό εσωτερικό φρεζάρισμα αντίθετο από την φορά των δεικτών του ρολογιού	G99	Ορισμός κοπτικού εργαλείου

1.4.2 Εντολές προγραμματισμού M

Για τις βασικές λειτουργίες της εργαλειομηχανής με ψηφιακή καθοδήγηση χρησιμοποιείται μία ακόμη ομάδα εντολών οι εντολές τύπου M. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι εντολές αυτές με την αντίστοιχη λειτουργία που πραγματοποιούν.

Συμ.	Περιγραφή	Συμ.	Περιγραφή
M00	Προγραμματισμένη παύση της Ε/Μ	M09	Διακοπή της ροής κοπτικού υγρού
M01	Προαιρετική παύση της Ε/Μ	M13	Δεξιόστροφη περιστροφή ατράκτου και ενεργοποίηση ροής κοπτικού υγρού
M02	Τέλος προγράμματος	M14	Αριστερόστροφη περιστροφή ατράκτου και ενεργοποίηση ροής κοπτικού υγρού
M03	Δεξιόστροφη περιστροφή ατράκτου (ανθρωρολογιακή φορά)	M30	Τέλος προγράμματος και επιστροφή στην αρχή
M04	Αριστερόστροφη περιστροφή ατράκτου (ωρολογιακή φορά)	M70	Καθρεππισμός ως προς τον άξονα Χ
M05	Διακοπή περιστροφής ατράκτου	M71	Καθρεππισμός ως προς τον άξονα Υ
M06	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου	M80	Ακύρωση καθρεππισμού ως προς τον άξονα Χ
M07/M08	Ενεργοποίηση ροής κοπτικού υγρού	M81	Ακύρωση καθρεππισμού ως προς τον άξονα Υ

Αλφαβητικά σύμβολα για Προγραμματισμό με ISO

Όπως και στην περίπτωση του εντολών G έτσι και οι εντολές M του πίνακα μπορεί να διαφοροποιούνται ανάλογα με την καθοδήγηση και έτσι η χρήση τους απαιτεί συνεχή αναφορά στο αντίστοιχο εγχειρίδιο της εργαλείο μηχανής.

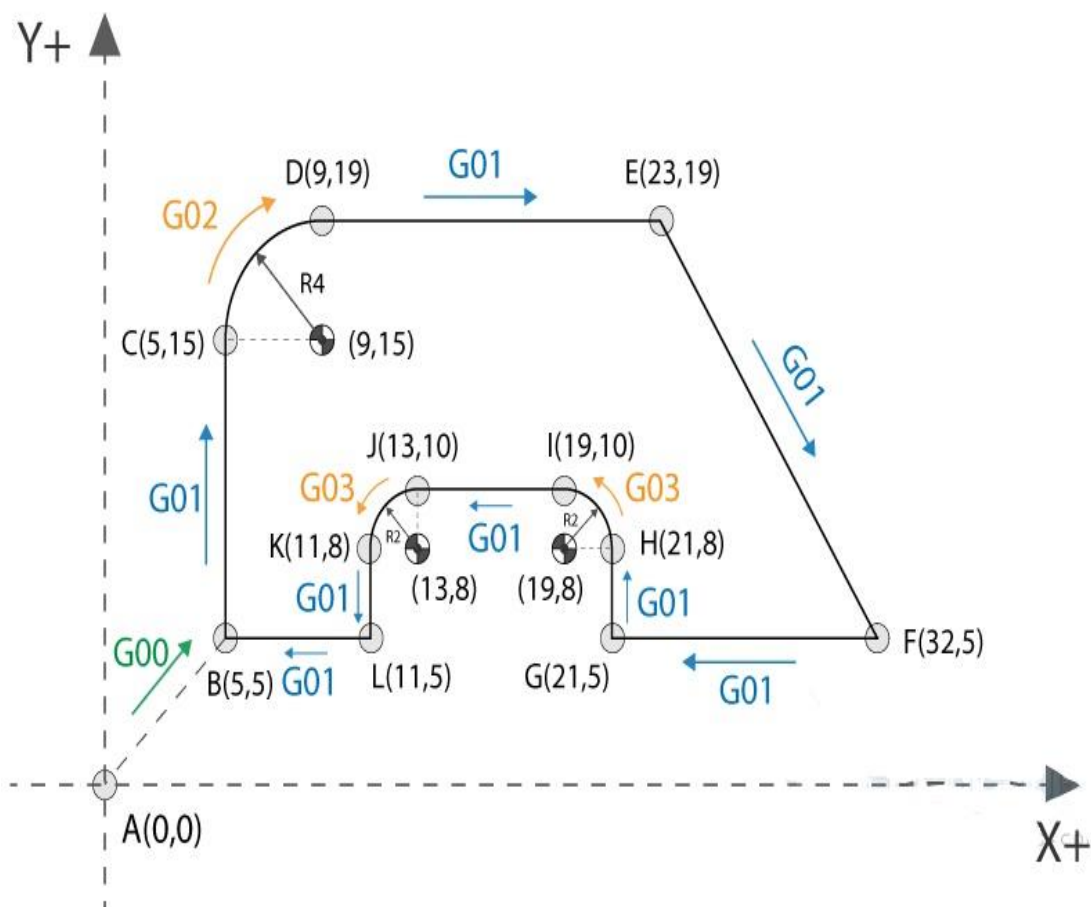
Οι εντολές G και M χρησιμοποιούν για τα ορίσματα τους διάφορους χαρακτήρες που συνολικά οι λειτουργίες τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Συμ.	Περιγραφή	Συμ.	Περιγραφή
%	Αρχή προγράμματος	N	Αριθμός μπλοκ
A	Άξονα περιστροφής γύρω από τον X	P	Παράμετρος για ορθογωνική και κυκλική κατεργασία
B	Άξονας περιστροφής γύρω από τον Y	Q	Παράμετρος
C	Άξονας περιστροφής γύρω από τον Z	R	Ακτίνα κοπτικού – ακτίνα πολική
D	Ορισμός παραμέτρων	S	Ορισμός στροφών/λεπτό
F	Κώδικας ταχύτητας πρόωσης	T	Ορισμός και κλίση κοπτικού εργαλείου
G	Κώδικας προπαρασκευασμένος	U	Σχετική κίνηση στο X
H	Γωνία περιστροφής	V	Σχετική κίνηση στο Y
I	Συντεταγμένη X του κέντρου κύκλου	W	Σχετική κίνηση στο Z
J	Συντεταγμένη Y του κέντρου κύκλου	X	Άξονας X
K	Συντεταγμένη Z του κέντρου κύκλου	Y	Άξονα Y

1.4.3 Δομή ενός κώδικα

- Έναρξη του προγράμματος.
Ονομασία %7 → όνομα προγράμματος
Αριθμητικό μπλοκ N10 N20 (συνήθως ανά 10).
- Προπαρασκευαστικές εντολές
Συστήματα μονάδων → G71 (μετρητικό σύστημα) ,G70 (αγγλοσαξονικό σύστημα)
Συστήματα συντεταγμένων → G90 (απολυτές συντεταγμένες) ,G91 (σχετικές συντεταγμένες).

- 3) Μπλοκ ασφαλείας 1
Στην αρχή του προγράμματος πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι δεν έχουν παραμείνει ενεργές εντολές από προηγούμενες εντολές → G80 .
- 4) Μπλοκ ασφαλείας 2
Ακύρωση αντισταθμίσεων → G40
- 5) Ορισμός επιπέδου κατεργασίας.
G17 → XY, G18 → XZ, G19 → YZ
- 6) Θέση Parking και αυτόματη αλλαγή → M06
M03 → Δεξιόστροφη περιστροφή ατράκτου, M04 → Αριστερόστροφη περιστροφή ατράκτου
- 7) Τερματισμός προγράμματος
M05 → Διακοπή περιστροφής ατράκτου
M09 → Διακοπή της ροής κοπτικού υγρού
M02 → Τέλος προγράμματος



%7

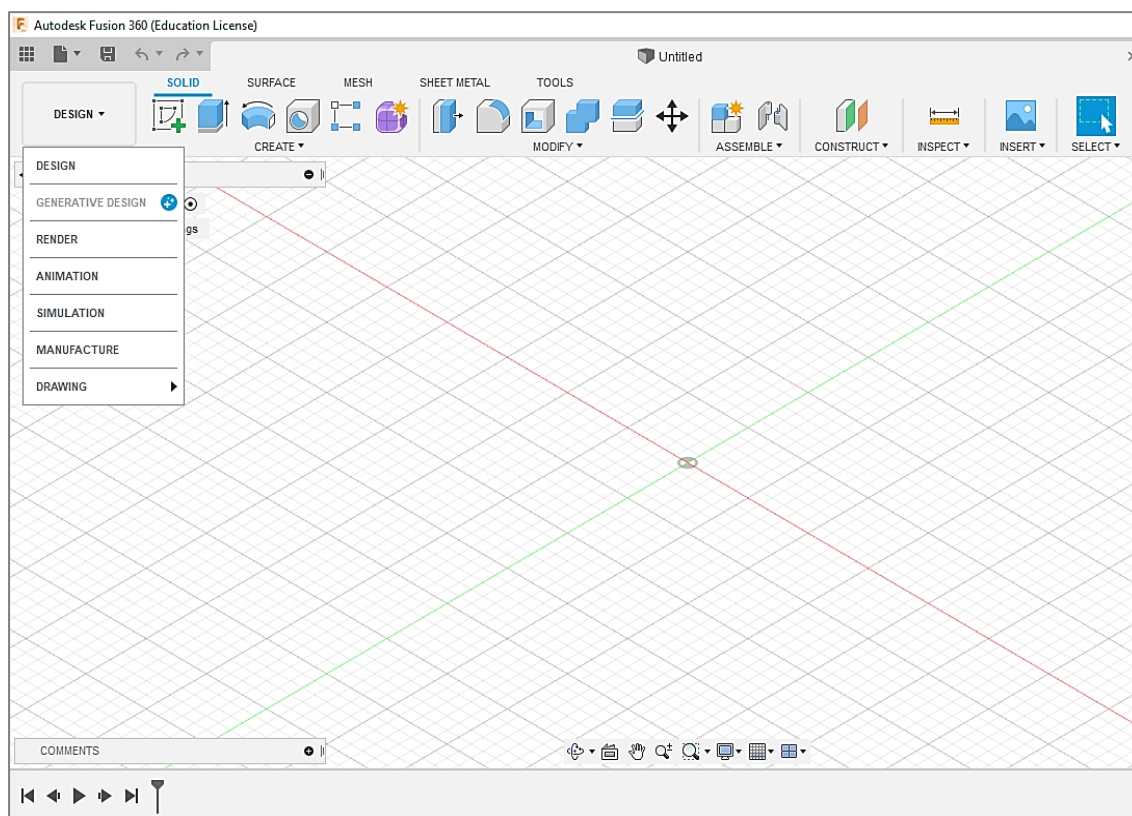
	X	Y	Z
N10 G71 G17 G90 F100			
N20 M03 S1000	A	0	0
N30 G00 X5 Y5	B	5	5
N40 G01 X5 Y5 Z-2			-2
N50 G01 X5 Y15 Z-2	C	5	15
N60 G02 X9 Y19 Z-2	D	9	19
N70 G01 X23 Y19 Z-2	E	23	19
N80 G01 X32 Y5 Z-2	F	32	5
N90 G01 X21 Y5 Z-2	G	21	5
N100 G01 X21 Y8 Z-2			-2
N110 G03 X19 Y10 Z-2	H	21	8
N120 G01 X13 Y10 Z-2	I	19	10
N130 G03 X11 Y8 Z-2	J	13	10
N140 G01 X11 Y5 Z-2	K	11	8
N150 G01 X5 Y5 Z-2	L	11	5
N160 G01 X5 Y5 Z0			-2
N170 G28 X0 Y0			
N160 M05			
N170 M30			

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Εισαγωγή στο πρόγραμμα

Το πρόγραμμα στο οποίο βασίστηκε η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι το Fusion360 της Autodesk και αποτελεί μια πλατφόρμα CAD (Computer-Aided Design), CAM (Computer-Aided Manufacturing) και CAE (Computer-Aided Engineering).

Το Fusion360 αποτελεί ένα πρόγραμμα που επιτρέπει την διαχείριση πολλών φάσεων ενός μοντέλου, επιτρέπει την συνεργασία ανάμεσα σε πολλούς τομείς όπως το σχεδιασμό, την ανάλυση και την διαδικασία κατεργασίας του μοντέλου.



Εικόνα 2.1 :Τμήματα του Fusion360.

Μερικά από τα τμήματα του Fusion360 είναι τα εξής:

- **DESIGN**

Απευθύνεται στο κομμάτι του μηχανολογικού σχεδιασμού, διαθέτει πλήθος εντολών για την σχεδίαση ενός αντικειμένου και την συναρμολόγησή του.

- **GENERATIVE DESIGN**

Δημιουργεί σχέδια που ανταποκρίνονται στις προϋποθέσεις κατασκευής και κόστους αφαιρώντας το μη αναγκαίο υλικό.

- **RENDER**

Επεξεργάζεται το σχέδιο αποδίδοντας του μια ρεαλιστική απόδοση.

- **ANIMATION**

Δημιουργεί κινούμενα σχέδια για τον μέθοδο λειτουργίας ή συναρμολόγησης του σχεδίου.

- **SIMULATION**

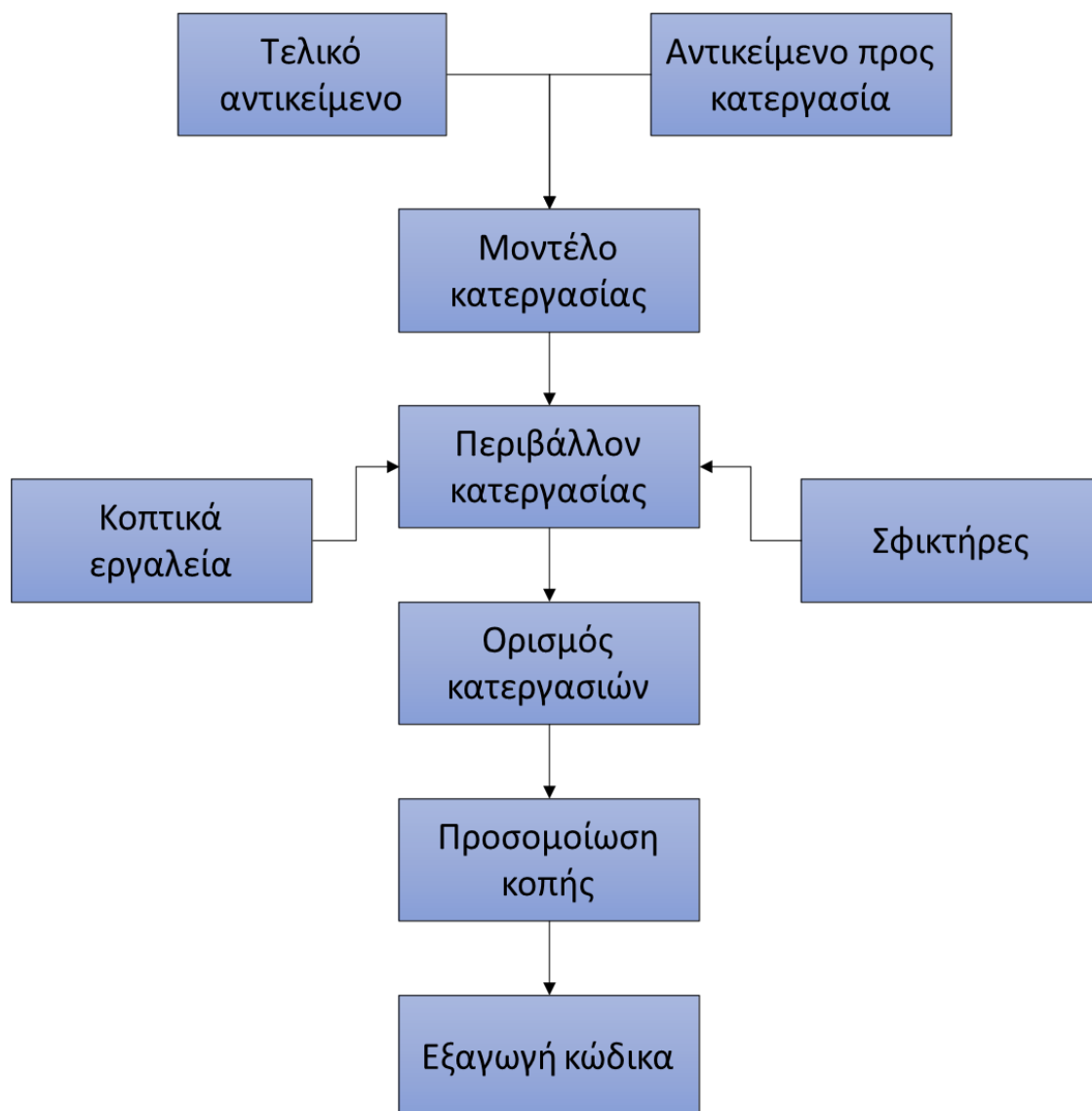
Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο τμήμα ώστε να εκτελέσουν αναλύσεις και προσομοιώσεις στο αντικείμενο.

- **MANUFACTURE**

Πλατφόρμα ψηφιακής καθοδήγησης εντολών κατεργασίας για πλήθος εργαλειομηχανών και προσομοίωση της κατεργασίας.

Μεθοδολογία κατεργασίας

Η μεθοδολογία δημιουργίας του προγράμματος για την κατεργασία ενός τεμαχίου σε ένα σύστημα CAD/CAM φαίνεται στην εικόνα 2.2 όπου παρουσιάζεται με διάγραμμα ροής.



Εικόνα 2.2 : Μεθοδολογία κατεργασίας.

Από το σύστημα CAD ο χρήστης έχει ήδη έτοιμο το μοντέλο του τελικού αντικειμένου. Επιπλέον απαιτείται το μοντέλο του αντικειμένου προς κατεργασία που μπορεί να είναι μια πρώτη ύλη ή η μορφή του ακατέργαστου αντικειμένου, που σχεδιάζεται για το σκοπό της παραγωγής του προγράμματος καθοδήγησης της εργαλειομηχανής. Η σύνδεση τους μας παραδίδει το μοντέλο κατεργασίας, που στην ουσία μας επιδειχνει το υλικό που πρέπει να αφαιρεθεί από το αρχικό αντικείμενο ώστε να δημιουργηθεί το τελικό αντικείμενο.

Στη συνέχεια καθορίζεται το περιβάλλον κατεργασίας που απαρτίζεται από την εργαλειομηχανή και τα κοπτικά εργαλεία. Και τα δυο ορίζονται συνήθως από έτοιμες βιβλιοθήκες ή επεξεργάζονται από τον χρήστη.

Τοποθετώντας το μοντέλο κατεργασίας στο περιβάλλον κατεργασίας οπού προσδένεται με τη βοήθεια του σφικτήρα μπορούμε να καθορίσουμε μία διάταξη παραγωγής η οποία με τη σειρά της θα αποτελείται από ορισμένες εντολές κατεργασίας. Η κάθε τοποθέτηση κατατοπίζει το αντικείμενο σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων της εργαλειομηχανής. Οι εντολές είναι κατεργασίες που θα εκτελεστούν σε αυτή την τοποθέτηση, ανάλογα με το περιβάλλον κατεργασίας και την διάταξη, έχουμε και ορισμένες εντολές διαθέσιμες προς εκτέλεση.

Αφού εκτελεστεί μια εντολή κατεργασίας δημιουργείται το αρχείο θέσεων του κοπτικού ώστε να γίνει μια προσομοίωση κοπής. Στην οθόνη του υπολογιστή παρουσιάζεται σε προσομοίωση η αφαίρεση του κατεργαζόμενου όγκου και εάν η προσομοίωση δεν δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα τότε πρέπει να επαναπροσδιοριστούν κάποιες από τις παραμέτρους ή τα άλλα στοιχεία που έχουμε δώσει κατά την διάρκεια της δημιουργίας της εντολής. Εάν η προσομοίωση δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα μπορεί να αφαιρεθεί ο όγκος που κατεργάστηκε και να συνεχιστεί η κατεργασία στο επόμενο στάδιο ή όταν έχουν ολοκληρωθεί όλες οι κατεργασίες να γίνει η τελική επεξεργασία του συνολικού αρχείου θέσεων του κοπτικού εργαλείου.

Στην τελική επεξεργασία των δεδομένων το αρχείο θέσης του κοπτικού εργαλείου μετατρέπεται σε κώδικα κατανοητό από την εργαλειομηχανή. Το αποτέλεσμα αυτής της μετατροπής επηρεάζεται από την ποιότητα του τελικού επεξεργαστή και εάν το αποτέλεσμα αυτής της τελικής επεξεργασίας δεν ταιριάζει απόλυτα με αυτά που απαιτεί η μηχανή τότε απαιτείται επαναπροσδιορισμός των ρυθμίσεων. Εάν το αποτέλεσμα της τελικής επεξεργασίας ταιριάζει απόλυτα με αυτά που προϋποθέτει η εργαλειομηχανή, τότε το πρόγραμμα αποστέλλεται στη εργαλειομηχανή.

2.2 Εντολές κατεργασίας στο Fusion 360

Οι λειτουργίες που προσφέρει το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι για κατεργασίες από 2,5 έως και 5 άξονες, καθώς και αξονικές κατεργασίες. Οι εντολές κατεργασίας που είναι διαθέσιμες είναι χωρισμένες σε 4 γενικές κατηγορίες:

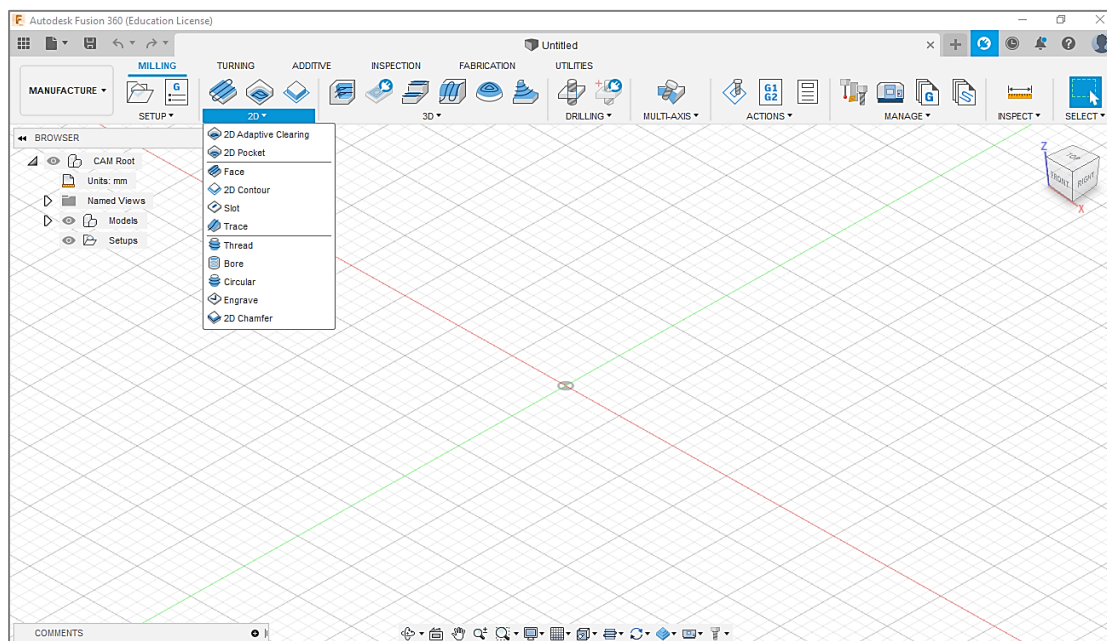
- Εντολές κατεργασίας 2D
- Εντολές κατεργασίας 3D
- Εντολές κατεργασίας οπών και
- Εντολές κατεργασίας Multi-axis.

Στις εντολές κατεργασίας 2D και 3D αντίστοιχα διακρίνουμε δυο κατηγορίες κατεργασιών το ξεχονδρίσματα (roughing) και το φινίρισμα (finishing). Στο ξεχονδρίσματα μας ενδιαφέρει η γρήγορη αφαίρεση του υλικού ώστε να προσεγγιστούν οι διαστάσεις της τελικής επιφάνειας, ενώ στο φινίρισμα μας απασχολεί η ακριβής απόδοση της γεωμετρίας, των ανοχών κατεργασίας και της ποιότητας της τελικής επιφάνειας. Για τα ξεχονδρίσματα υπολογίζεται από το αντικείμενο αναφοράς μια νέα μορφή που έχει επιπλέον το ποσό του υλικού που απαιτείται να μείνει πάνω στο υλικό για το φινίρισμα. Συνήθως το υλικό αποβάλλεται κατά επίπεδα και με κίνηση αντίστοιχη με την κατεργασία εσοχών (rockets) όπου τα όρια κάθε εσοχής προσδιορίζονται από την τομή της επιφάνειας με το εκάστοτε επίπεδο κοπής.

Στο φινίρισμα προσδιορίζονται πρώτα οι καμπύλες πάνω στην επιφάνεια του αντικείμενου που θα κατεργαστεί. Στη συνέχεια οι καμπύλες προσεγγίζονται στην πιο απλή περίπτωση με ευθύγραμμα τμήματα και το κοπτικό εργαλείο οδηγείται πάνω σε αυτά τα τμήματα, η ακρίβεια της κατεργασίας εξαρτάται από την προσέγγιση που επιτυγχάνουν τα τμήματα στην καμπύλη και η οποία πρέπει να είναι μικρότερη από την ακρίβεια που προσδιορίζουν οι ανοχές κατεργασίας.

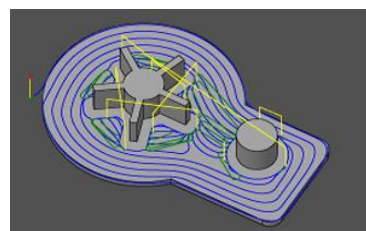
2.3.1 Εντολές κατεργασίας 2D

Στην κατηγορία των κατεργασιών 2D υπάρχουν εντολές για την κατεργασία δισδιάστατων επιφανειών καθώς και την δημιουργία σπειρωμάτων και συνθέτων εσοχών.



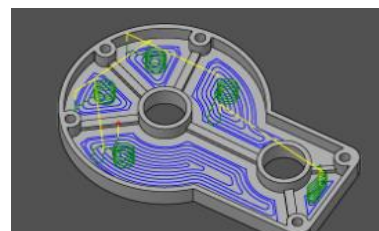
Εικόνα 2.3 : Εντολές κατεργασίας 2D.

2D Adaptive Clearing: Δημιουργεί μια λειτουργία ξεχονδρίσματος που χρησιμοποιεί μια βέλτιστη διαδρομή για το κοπτικό εργαλείο ώστε να αποφύγει την απότομη αλλαγή κατεύθυνσης.



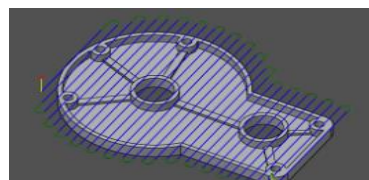
Εικόνα 2.4

2D Pocket: Δημιουργεί μια λειτουργία ξεχονδρίσματος που χρησιμοποιεί μια διαδρομή για το κοπτικό εργαλείο παράλληλη με την επιλεγμένη γεωμετρία.



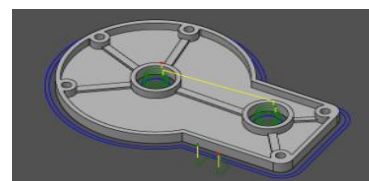
Εικόνα 2.5

Face: Είναι μια κατεργασία όπου αφαιρεί όλο το υλικό από το επάνω μέρος του προπλάσματος μέχρι κάποιο επιθυμητό βάθος έτσι ώστε να έχουμε μια επιφάνεια αναφοράς για το μοντέλο μας.



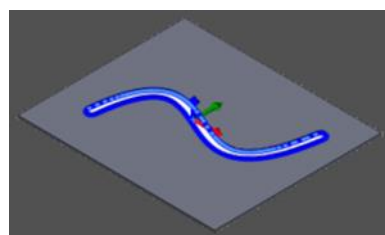
Εικόνα 2.6

2D Contour: Δημιουργεί μια διαδρομή για το κοπτικό εργαλείο με βάση το περίγραμμα του μοντέλου.



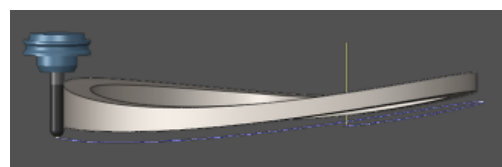
Εικόνα 2.7

Slot: Δημιουργεί αυλάκωση σε επιφάνεια η οποία ορίζει την πορεία η αξονική γραμμή της αυλάκωσης κλειστού ή ανοιχτού περιγράμματος. Το κοπτικό εργαλείο μας πρέπει να είναι ίσο ή μικρότερο από το πλάτος της αυλάκωσης. Ωστόσο μπορούμε να επιλέξουμε παραπάνω από ένα περίγραμμα αυλάκωσης.



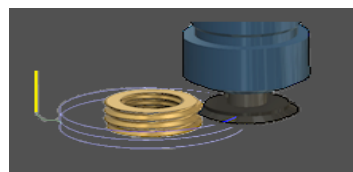
Εικόνα 2.8

Trace: Δημιουργεί μια διαδρομή για το κοπτικό εργαλείο κατά μήκος περιγραμμάτων με μεταβαλλόμενες τιμές στο Z άξονα.



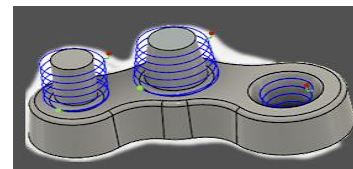
Εικόνα 2.9

Thread: Δημιουργεί μια σπειροειδή ελικοειδή κοπή για την δημιουργία εξωτερικού σπειρώματος.



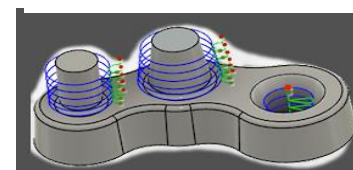
Εικόνα 2.10

Bore: Δημιουργεί σπείρωμα που κατά την διάρκεια της κοπής το κοπτικό παραμένει σε επαφή με την επιλεγμένη επιφάνεια.



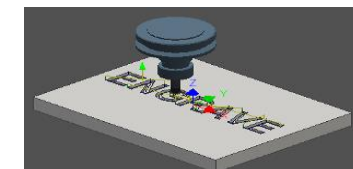
Εικόνα 2.11

Circular: Δημιουργεί κυκλικές τομές σε πολλαπλά ύψη κατά μήκος των επιλεγμένων όψεων.



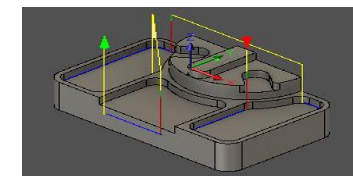
Εικόνα 2.12

Engrave: Αφαιρεί μια μικρή ποσότητα υλικού ακολουθώντας την βέλτιστη διαδρομή για την χάραξη γραμμάτων και σχεδίων.



Εικόνα 2.13

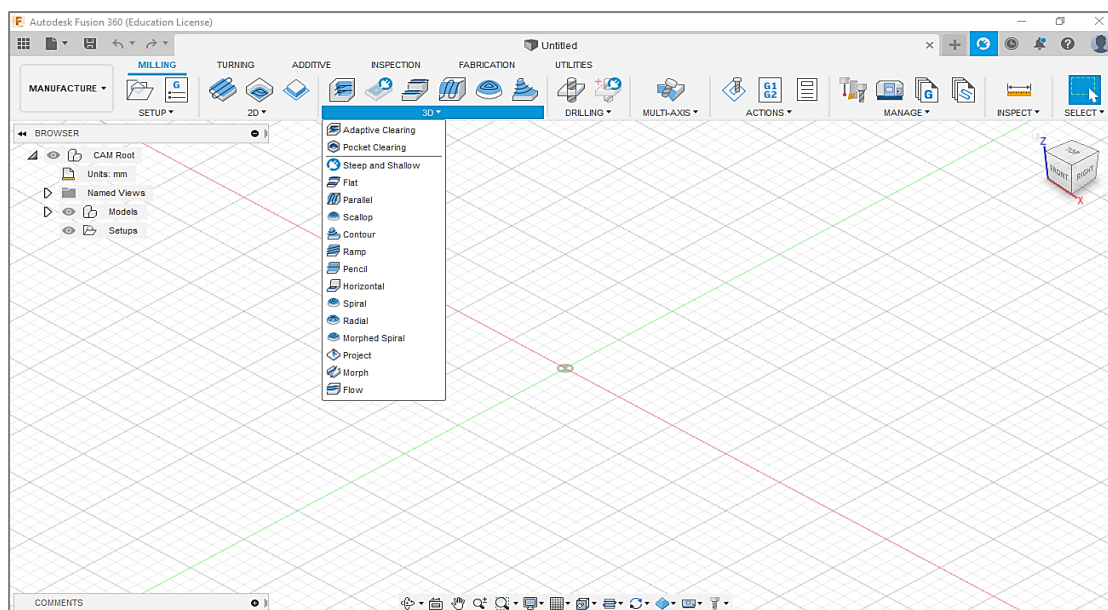
2D Chamfer: Αφαιρεί υλικό κατά μήκος των περιγραμμάτων που δημιουργούν μια λοξόμητη επιφάνεια.



Εικόνα 2.14

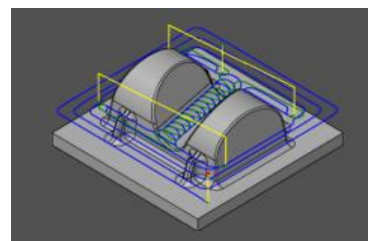
2.3.2 Εντολές κατεργασίας 3D

Στην κατηγορία των κατεργασιών 3D συναντούμε εντολές για την κατεργασία τρισδιάστατων επιφανειών.



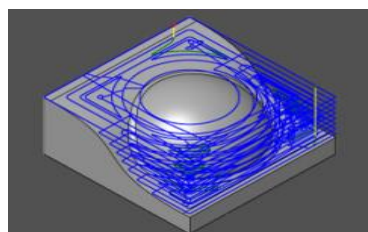
Εικόνα 2.15 : Εντολές κατεργασίας 3D.

Adaptive Clearing: Ακολουθεί μια στρατηγική ξεχονδρίσματος για την αποτελεσματική εκκαθάριση μεγάλων ποσοτήτων υλικού καθώς δημιουργεί μια σειρά σταθερών επίπεδων στον Z άξονα μέσω του τμήματος και στην συνέχεια τα διαγραφεί σταδιακά.



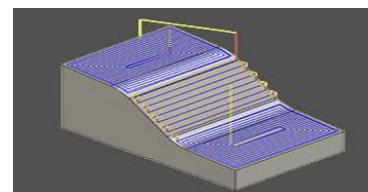
Εικόνα 2.16

Pocket cleaning: Δημιουργεί μια λειτουργία ξεχονδρίσματος για αποτελεσματικό καθαρισμό του υλικού καθώς το τμήμα καθαρίζεται στρώμα-στρώμα με ομαλά περιγράμματα καθ' όλη την διάρκεια.



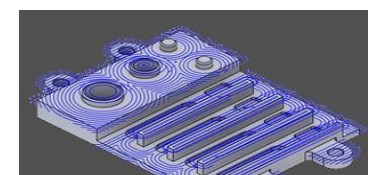
Εικόνα 2.17

Steep and Shallow: Δημιουργεί μια λειτουργία φινιρίσματος που επεξεργάζεται απότομες περιοχές χρησιμοποιώντας το περίγραμμα κάνοντας παράλληλα ή χιαστί περάσματα.



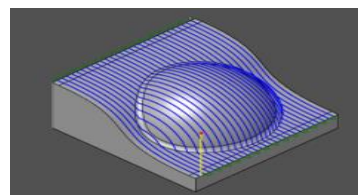
Εικόνα 2.18

Flat: Δημιουργεί μια λειτουργία φινιρίσματος που εντοπίζει αυτόματα όλες τις επίπεδες περιοχές ενός τμήματος που είναι κάθετες στον προσανατολισμό του κοπτικού εργαλείου.



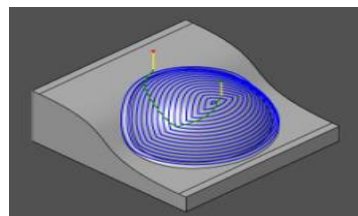
Εικόνα 2.19

Parallel: Ακολουθεί μια στρατηγική φινιρίσματος στην οποία τα περάσματα είναι παράλληλα στο επίπεδο XY και ακολουθούν την επιφάνεια στην κατεύθυνση Z.



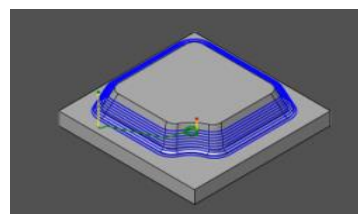
Εικόνα 2.20

Scallop: Δημιουργεί περάσματα σε σταθερή απόσταση το ένα από το άλλο μετατοπίζοντας τα προς τα μέσα κατά μήκος της επιφάνειας. Τα περάσματα ακολουθούν επικλινείς και κάθετες επιφάνειες ώστε να διατηρείτε το βήμα.



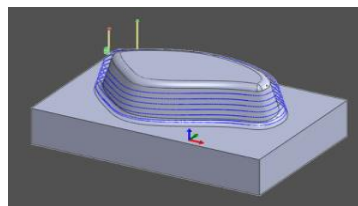
Εικόνα 2.21

Contour: Ακολουθεί την βέλτιστη στρατηγική για το φινιρίσμα αποτόμων επιφανιών, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατεργασία ημιτελικής επεξεργασίας και φινιρίσματος στις πιο κατακόρυφες περιοχές ενός εξαρτήματος.



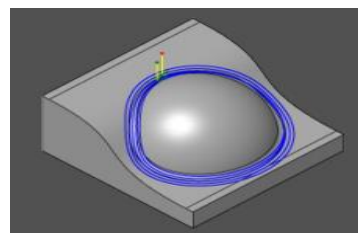
Εικόνα 2.22

Ramp: Δημιουργεί μια λειτουργία φινιρίσματος που προορίζεται για απότομες περιοχές παρόμοια με την στρατηγική Contour.



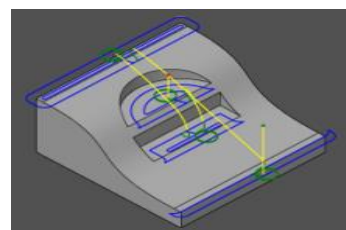
Εικόνα 2.23

Pencil: Δημιουργεί διαδρομές εργαλείων κατά μήκος των εσωτερικών γωνιών και αφαιρεί υλικό που δεν μπορεί να φτάσει κανένα άλλο εργαλείο.



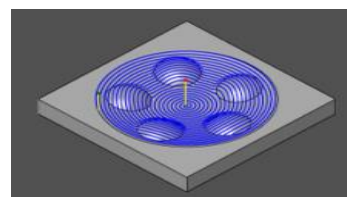
Εικόνα 2.24

Horizontal: Ανιχνεύει αυτόματα όλες τις επίπεδες περιοχές του εξαρτήματος και τις καθαρίζει με μια διαδρομή μετατόπισης. Εάν η επίπεδη περιοχή βρίσκεται σε ράφι πάνω από τις γύρω περιοχές το κοπτικό εργαλείο μετακινείται πέρα από τις επίπεδες περιοχές για να καθαρίσει τις άκρες.



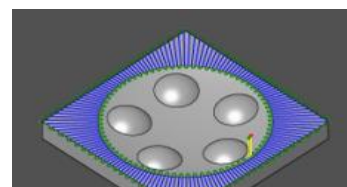
Εικόνα 2.25

Spiral: Δημιουργεί μια σπειροειδή διαδρομή εργαλείων από ένα δεδομένο κεντρικό σημείο, δημιουργώντας μια σταθερή επαφή καθώς εργάζεται εντός ενός δεδομένου ορίου.



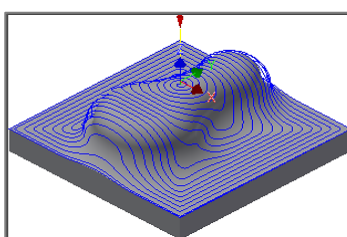
Εικόνα 2.26

Radial: Όπως η κατεργασία Spiral έτσι και αυτή η λειτουργία ξεκινά επίσης από ένα κεντρικό σημείο παρέχοντας την δυνατότητα να κατεργάζεται ακτινικά εξαρτήματα. Παρέχει επίσης την επιλογή να σταματήσει το κοπτικό εργαλείο κοντά στο κέντρο των ακτινωτών περασμάτων, όπου γίνονται πολύ πυκνά.



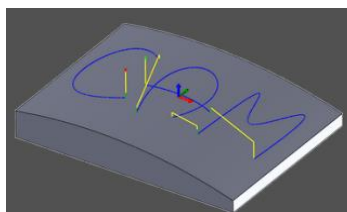
Εικόνα 2.27

Morphed Spiral: Παρόμοια με την κατεργασία Spiral εκτός ότι αυτή η λειτουργία δημιουργεί τη σπείρα από το επιλεγμένο όριο σε αντίθεση με το Spiral κόβει τα δημιουργούμενα περάσματα στο όριο μηχανικής κατεργασίας. Αυτό σημαίνει ότι η συγκεκριμένη λειτουργία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πρόσθετες επιφάνειες για τις οποίες το Spiral δεν είναι κατάλληλο.



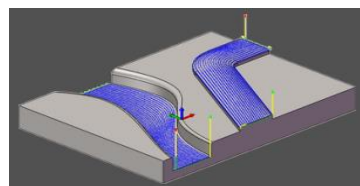
Εικόνα 2.28

Project: Ακολουθεί μια στρατηγική φινιρίσματος που επιτρέπει την επεξεργασία κατά μήκος των περιγραμμάτων με το κέντρο του εργαλείου. Χρησιμοποιείται συνήθως για την χάραξη κειμένου ή συμβολών σε μια επιφάνεια.



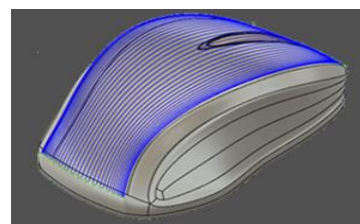
Εικόνα 2.29

Morph: Ακολουθεί μια στρατηγική φινιρίσματος για την κατεργασία ρηχών περιοχών μεταξύ των επιλεγμένων περιγραμμάτων με σταθερή κατεύθυνση κοπής.



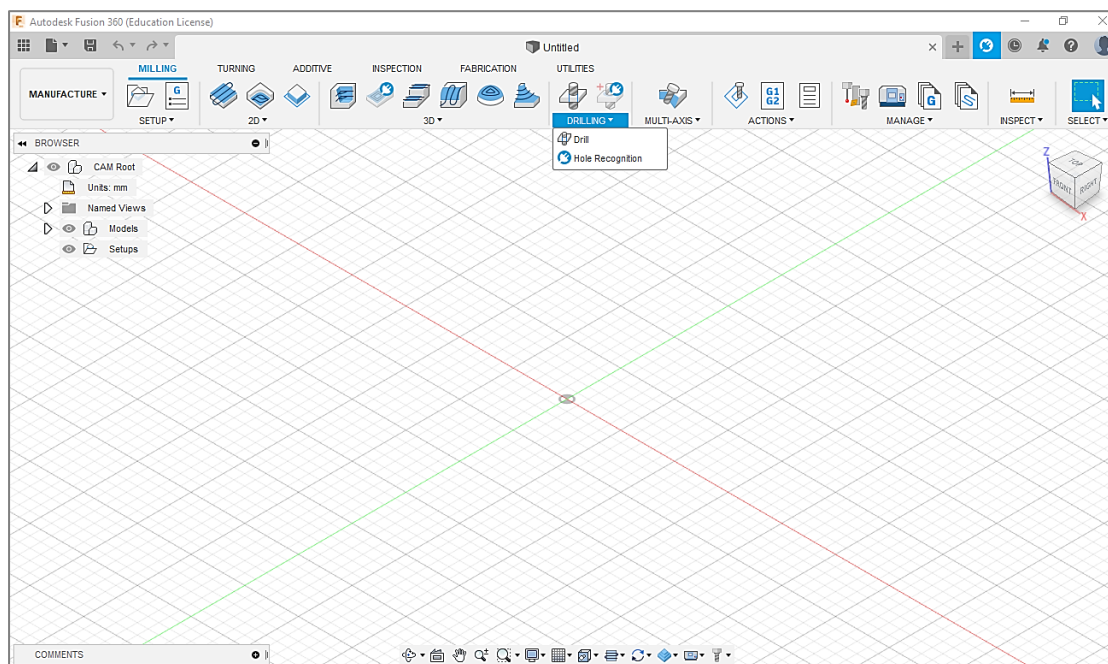
Εικόνα 2.30

Flow: Ακολουθεί μια στρατηγική φινιρίσματος η οποία ακολουθεί τις καμπύλες μιας επιφάνειας για την κατεργασία εξαρτημάτων με καμπύλες επιφάνειες. Τα περάσματα του κοπτικού εργαλείου και τα σημεία της διαδρομής είναι ομοιόμορφα τοποθετημένα ώστε να παρέχουν σταθερή κίνηση κοπής σε σχήματα ελεύθερης μορφής.



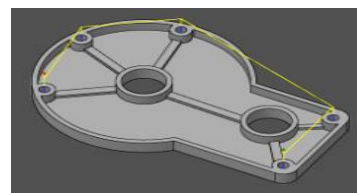
Εικόνα 2.31

2.3.3 Εντολές κατεργασίας οπών



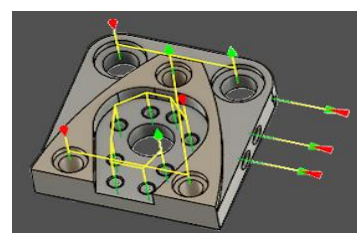
Εικόνα 2.32: Εντολές κατεργασίας οπών.

Drill: Παρέχει πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα εργασιών διάτρησης και δημιουργίας οπών.



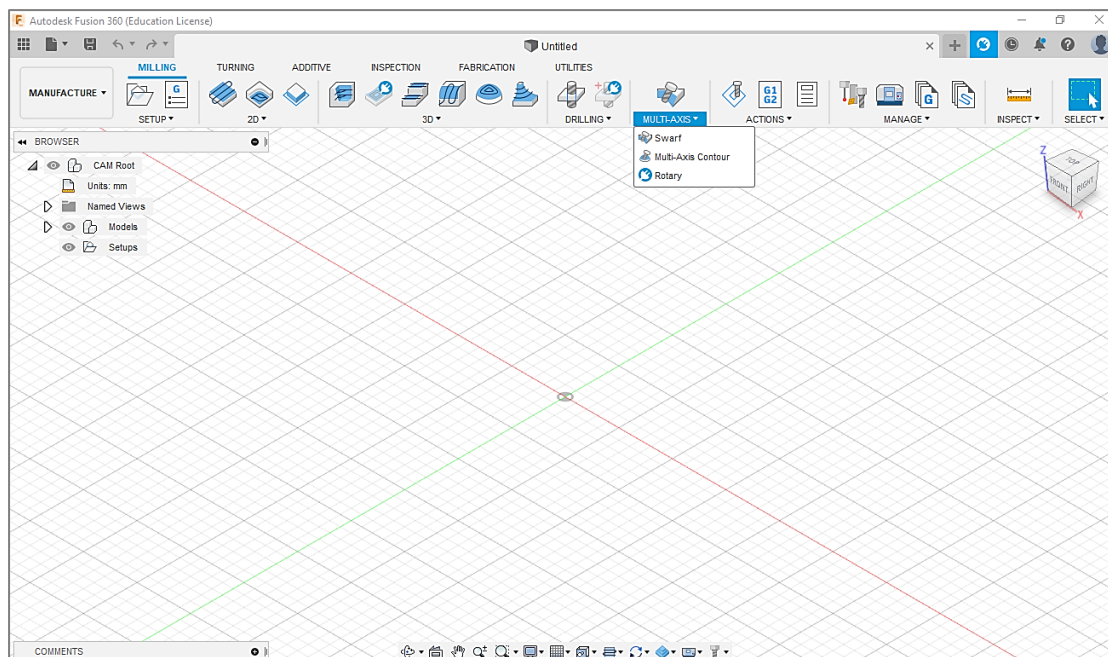
Εικόνα 2.33

Hole Recognition: Αυτοματοποιεί τη διαδικασία διάτρησης βρίσκοντας χαρακτηρισικά οπών σε οποιοδήποτε επίπεδο και δημιουργεί λειτουργίες βασισμένες σε τυπικές βιβλιοθήκες προτύπων οπών.



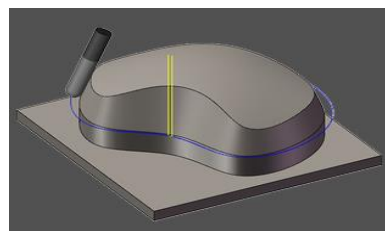
Εικόνα 2.34

2.3.4 Εντολές κατεργασίας Multi-axis



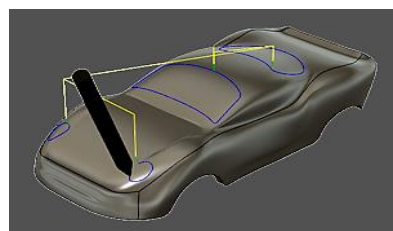
Εικόνα 2.35 : Εντολές κατεργασίας Multi-axis.

Swarf: Ακολουθεί μια στρατηγική πολλαπλών αξόνων για κατεργασία με το πλάι του κοπτικού εργαλείου. Αυτή η στρατηγική υποστηρίζει τη κατεργασία μόνο επιφανειών και περιγραμμάτων.



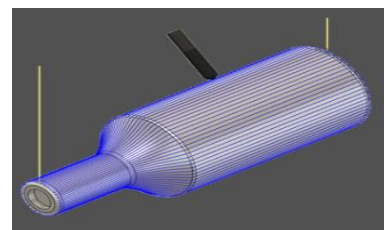
Εικόνα 2.36

Multi-Axis Contour: Ακολουθεί μια στρατηγική πολλαπλών αξόνων για κατεργασία με την άκρη του εργαλείου κατά μήκος μιας δεδομένης καμπύλης επαφής. Από προεπιλογή το κοπτικό εργαλείο είναι κανονικά στην επιφάνεια αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και σε πλαγιά κλίση όταν είναι επιθυμητό για τον έλεγχο του σημείου επαφής στο εργαλείο.



Εικόνα 2.37

Rotary: Ακολουθεί μια λειτουργία πολλών αξόνων που επιτρέπει την κατεργασία κατά μήκος και γύρω από ένα έναν περιστρεφόμενο άξονα. Το Rotary μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εξαρτήματα που κατεργάζονται πιο αποτελεσματικά με την χρήση εργαλειομηχανής 4^{ων} αξόνων.

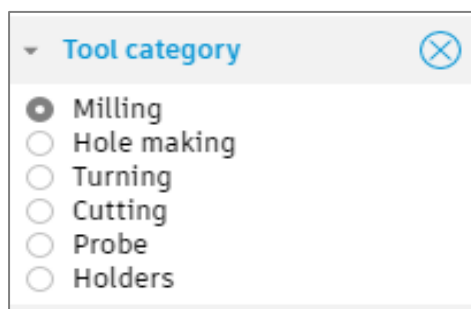


Εικόνα 2.38

2.3 Κοπτικά εργαλεία

Τα κοπτικά εργαλεία αποτελούν ένα πολύ σημαντικό μέρος στη διαδικασία της κοπής καθώς είναι ο κύριος εκφραστής των κατεργασιών που ορίζει ο χειριστής. Το Fusion360 παρέχει μια πληθώρα κοπτικών εργαλείων τα οποία χωρίζονται σε κατηγορίες.

Οι κατηγορίες που χωρίζονται τα κοπτικά εργαλεία είναι:



Εικόνα 2.39 : Κατηγορίες εργαλείων.

- I. **Milling:** Περιέχει κοπτικά εργαλεία τα οποία τα χρησιμοποιούμε για κατεργασίες φρεζαρίσματος, δηλαδή η κύρια κοπή του υλικού εξαρτάται άμεσα από την περιστροφή του κοπτικού εργαλείου. Στην καρτέλα αυτή θα βρούμε κάποιους φακέλους με συγκεκριμένους τύπους κοπτικών εργαλείων και έχει ενδεικτικά προκαθορισμένα το πρόγραμμα.
 - a) **Κονδύλια επίπεδης απόληξης (Flat end mill) :** είναι κονδυλοφόρα εργαλεία τα οποία το κυλινδρικό σώμα με την κοπτική ακμή είναι κάθετα μεταξύ τους. Μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες κοπτικές ακμές. Η γωνία ελίκωσης είναι μεταξύ 15-30 μοίρες. Χρησιμοποιούνται σε κατεργασία ξεχονδρίσματος και φινιρίσματος, κυρίως σε επιφάνειες κάθετες ή παράλληλες με τις κοπτικές ακμές του εργαλείου.
 - b) **Κονδύλια ημισφαιρικής απόληξης (Ball end mill) :** είναι κονδυλοφόρα εργαλεία με κυλινδρικό σώμα όπου κοπτική τους ακμή καταλήγει ημισφαιρική. Είναι ιδανικά για κατεργασία φινιρίσματος. Βασικό προτέρημά τους η κατεργασία τόσο σε επιφάνειες κάθετες κατά τον άξονα περιστροφής του κοπτικού, όσο και σε επιφάνειες υπό κλίση, με αποτέλεσμα μια καλής ποιότητας επιφάνεια.
 - c) **Κονδύλια γωνιακής απόληξης (Bull nose end mill) :** Είναι κονδυλοφόρα εργαλεία με κυλινδρικό σώμα όπου στις κοπτικές ακμές σχηματίζεται μια προκαθορισμένη γωνία μεταξύ του κυλινδρικού σώματος. Χρησιμοποιείται για συγκεκριμένες κατεργασίες όπου θέλουμε να έχουμε αυτή την μικρή γωνία μετά το πέρας της κατεργασίας.

- d) Φρεζοκεφαλές προσώπου με αλλασσόμενα πλακίδια (face mill) :** Είναι μανέλες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την κατεργασία προσώπου και ξεχονδρίσματος επιφάνειας, το προτέρημά τους είναι η αφαίρεση μεγάλου όγκου υλικού σε σχετικά γρήγορο χρόνο. Η μόνη και κύρια κοπτική ακμή βρίσκεται στα αλλασσόμενα πλακίδια.
- e) Κονδύλια κωνικής απόληξης (Tapered mill) :** Είναι κονδυλοφόρα εργαλεία με κωνικό σώμα όπου καταλήγουν σε διάφορες κοπτικές ακμές (επίπεδη, γωνιακή ή σφαιρική) ανάλογα την κατεργασία. Χρησιμοποιούνται για την κοπή αυλακώσεων με κλίση ή για φρεζαρισμένες πλευρές με κλίση.
- f) Κονδύλια ακτινικής κόψης (Radius mill) :** Είναι εργαλεία κοπής προκαθορισμένης κόψης που χρησιμοποιούνται για την κοπή συγκεκριμένης γωνιακής ακτίνας σε ένα τεμάχιο ή για την αφαίρεση του γρεζιού μετά από άλλη κατεργασία.
- g) Κονδύλια χάραξης ή λοξότμησης (Engrave/ Chamfer mill):** Είναι εργαλεία κοπής προκαθορισμένης κόψης που χρησιμοποιούνται για την κοπή συγκεκριμένης κλίσης μεταξύ δυο κάθετων επιφανειών για την δημιουργία απαλών ακμών ή για την χάραξη συγκεκριμένης γεωμετρίας.
- h) Κονδύλια χελιδονοουράς (Dovetail mill) :** Είναι εργαλείο προκαθορισμένης γεωμετρίας και χρησιμοποιείται για την κοπή συγκεκριμένης γεωμετρίας αύλακες και λοξότμησης. Είναι εργαλείο φινιρίσματος.
- i) Κονδύλια σφαιρικής απόληξης (Lollipop mill) :** Είναι σφαιρικό κοπτικό εργαλείο με κυλινδρικό λεπτό σώμα εν συγκρίσει τα κοινά κονδύλια. Προτέρημά του συγκεκριμένου κοπτικού είναι η ικανότητα του να έχει πρόσβαση σε δυσπρόσιτα σημεία και η κοπτική του ικανότητα σε διεύθυνση.
- j) Δισκοειδής κοπτήρας (Slot mill) :** Είναι εργαλεία κοπής όπου η κοπτική ακμή βρίσκεται στην περιφέρεια του δίσκου. εφαρμόζουμε τα συγκεκριμένα κοπτικά εργαλεία στην κοπή αυλακιού, σφηνάουλακα , αποκοπής τεμαχίου, σε φρεζάρισμα αυλάκωσης μορφής T και γενικά σε φρεζάρισμα προκαθορισμένης μορφής.
- k) Κοπτήρες σπειροτόμησης (Thread mill) :** Είναι κοπτικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κοπή σπειρώματος. Υπάρχει μεγάλη γκάμα εργαλείων που χρησιμοποιούνται για την συγκεκριμένη κατεργασία, από κονδυλοφόρα κολαούζα μέχρι μανέλες με αλλασσόμενα κοπτικά πλακίδια.
- l) Κοπτικά προκαθορισμένης μορφής (Form mill):** Πρόκειται για κοπτικά εργαλεία ειδικών μορφών με συγκεκριμένη γεωμετρία ώστε κατά την κατεργασία να αποτυπώνει την προκαθορισμένη γεωμετρία που θέλουμε.
- m) Σημειακά τρυπάνια (Spot drill) :** Είναι κοπτικά εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται για την έναρξη των οπών και τον

ακριβή εντοπισμό τους. Δημιουργούν μια ρηχή οπή έτσι ώστε τα τρυπάνια να μην μετακινούνται όταν αρχίζουν να τρυπάνε.

- n) **Φρεζαδόροι (Counter sink)** : Είναι κωνικά κοπτικά εργαλεία με συνήθως τρεις κοπτικές ακμές και διαφορετικών διαμέτρων τα οποία χρησιμοποιούνται για το σπάσιμο των αιχμηρών γωνιών στις οπές για την εφαρμογή βιδών, ήλων ή συγκόλλησης.

II. Hole making: Περιέχει κοπτικά εργαλεία για κατεργασίες διάτρησης και διεύρυνσης οπών σε οποιοδήποτε αντικείμενο κατεργαζόμαστε.

a) **Μανέλες διεύρυνσης οπών (Boring bar)** : Η μανέλα διεύρυνσης χρησιμοποιείται για την αφαίρεση υλικού από προ των υπάρχοντων οπών για να μεγεθύνει την εσωτερική διάμετρο και να επιτύχουμε μεγάλη ακρίβεια στην διάσταση της διαμέτρου της τάξης μικρομέτρων.

b) **(Counter bore)** : Τα δαχτυλιωτά τρυπάνια

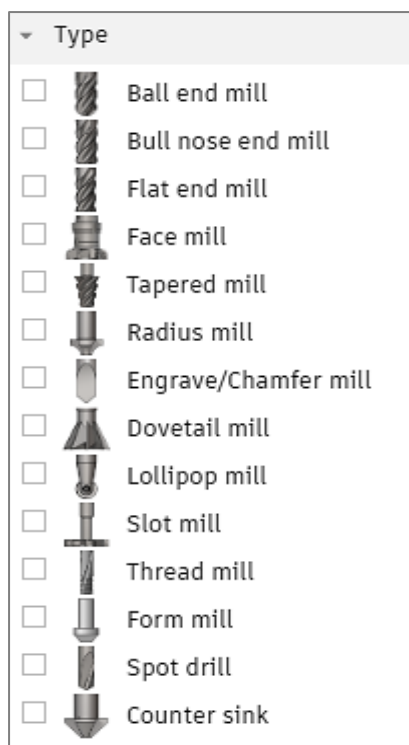
III. Turning: Περιέχει κοπτικά εργαλεία τα οποία τα χρησιμοποιούμε για κατεργασίες τórνευσης, όπως κοπτικά εργαλεία γενικής χρήσης, κοπτικά εργαλεία boring και ειδικά εργαλεία για την κατεργασία αυλακώσεων.

IV. Cutting: Περιέχει εργαλεία τα οποία τα χρησιμοποιούμε για κατεργασίες κοπής, όπως κοπή με την χρήση waterjet, κοπή με την χρήση laser και κοπή με χρήση plasma.

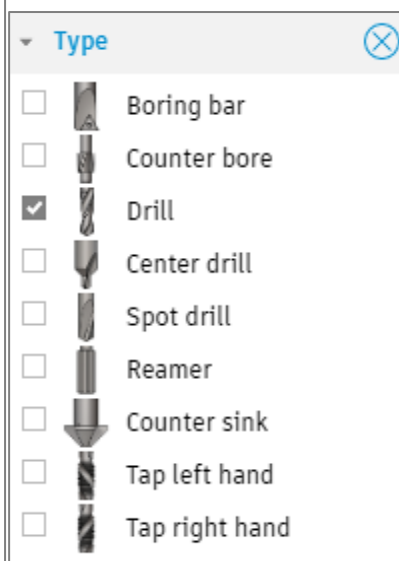
V. Probe: Περιέχει εργαλεία τα οποία τα χρησιμοποιούμε για να ελέγξουμε εάν υπάρχει πιθανότητα σύγκρουσης και να την αποτρέψουν χωρίς να χρειαστεί καμία αλλαγή στο σύστημα.

VI. Holders: Περιέχει εξαρτήματα τα οποία τα χρησιμοποιούμε για την συγκράτηση του κοπτικού εργαλείου. Σκοπός του είναι να συγκρατεί το κοπτικό εργαλείο στην θέση του όσο το δυνατόν ακριβέστερα και σταθερά γίνεται.

Η γεωμετρία του κοπτικού παίζει σημαντικό ρόλο στον ορισμό των ακολουθιών ακόμη και στην ίδια την κατεργασία. Ο ορισμός της γεωμετρίας των κοπτικών γίνεται με δυο τρόπους. Αρχικά μπορεί να επιλεγεί κάποιο έτοιμο κοπτικό από την λίστα της βιβλιοθήκης των κοπτικών που προσφέρει το fusion360. Η δεύτερη επιλογή είναι η επεξεργασία ενός από τα έτοιμα κοπτικά ώστε να προσαρμοσθεί στα δικά μας δεδομένα.

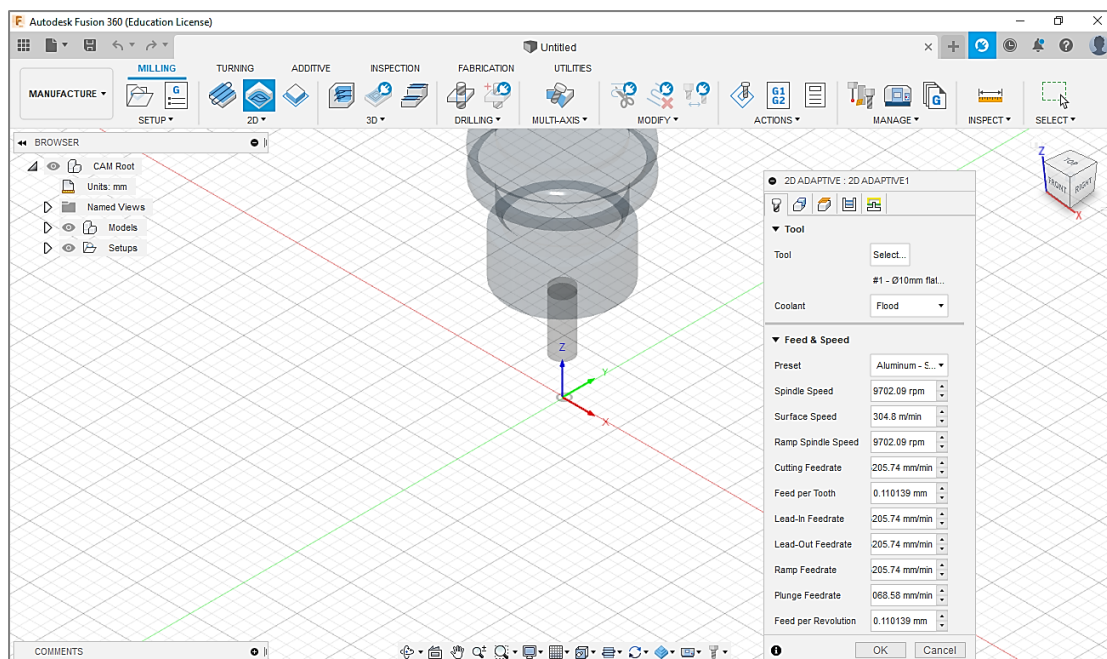


Εικόνα 2.40



Εικόνα 2.41

Τα κοπτικά εργαλεία τα επιλέγουμε σε κάθε κατεργασία ξεχωριστά στην επιλογή select tool. Όπου εμφανίζονται οι πίνακες στην εικόνα 2.42 και στην εικόνα 2.43



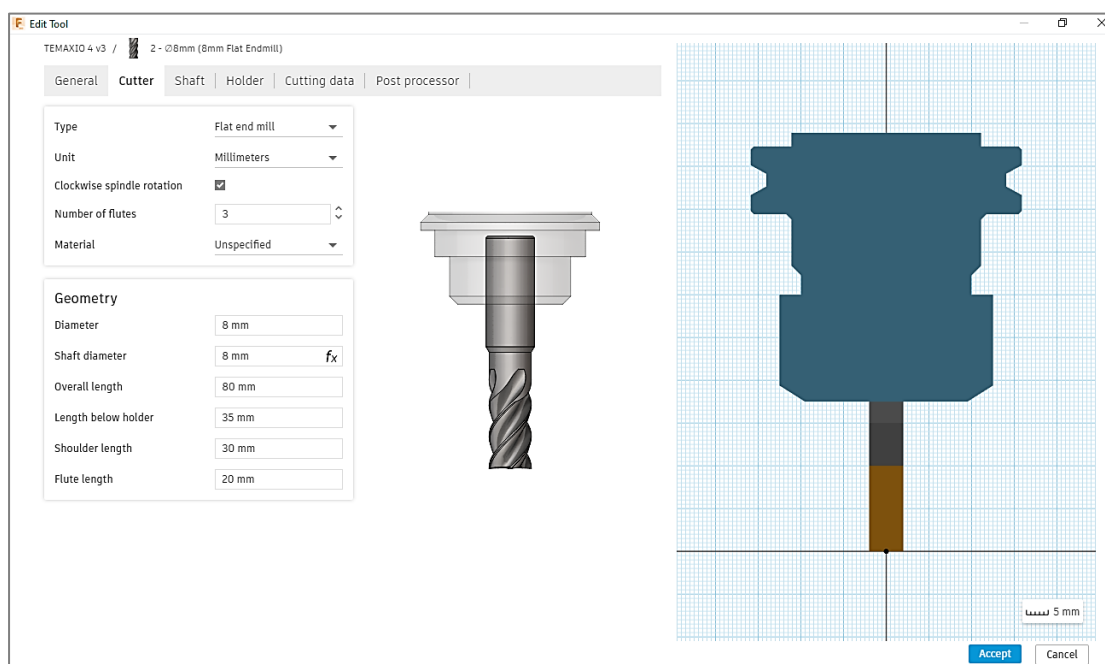
Εικόνα 2.42

2.4.1 Δημιουργία κοπτικών εργαλείων

Το περιβάλλον του Fusion360 επιτρέπει την συναρμολόγηση του κοπτικού με το στήριγμα του κοπτικού εργαλείου, ώστε να υπάρχει πιο ασφαλής εικόνα για την απόσταση που απαιτείται αναμεσά στο κοπτικό και το τεμάχιο για την αποφυγή συγκρούσεων.

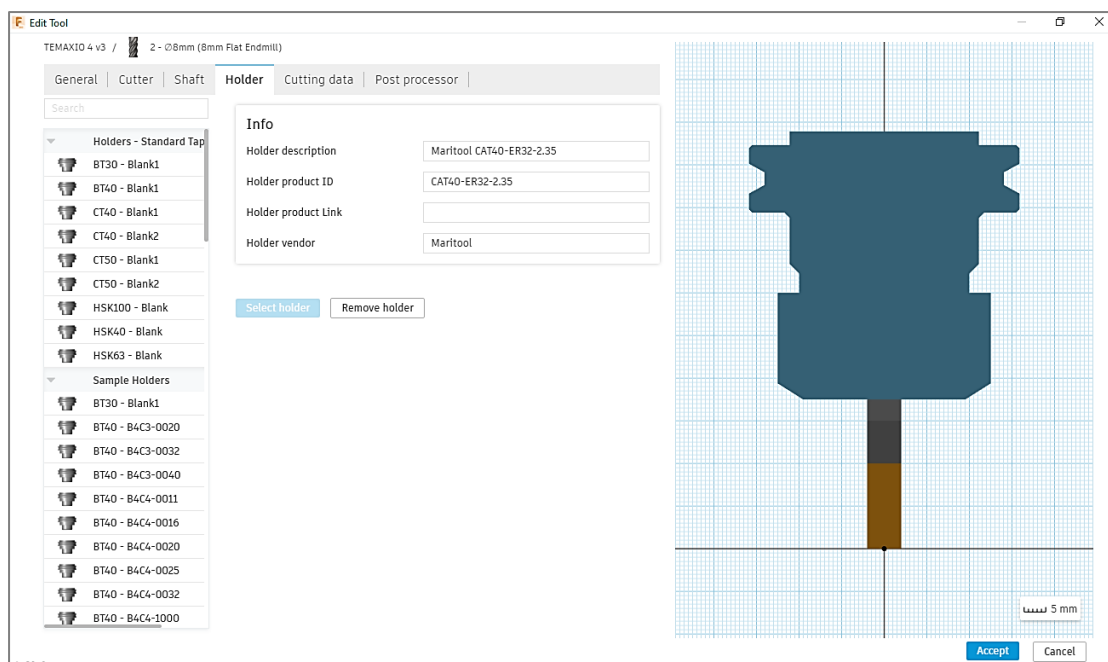
Αυτή η διαδικασία γίνεται στην ίδια καρτέλα που επιλέγουμε το κοπτικό εργαλείο, επιλέγοντας το Edit tool εμφανίζονται έξι νέες καρτέλες. Εμείς θα ασχοληθούμε με τις τρεις κυριότερες.

Η καρτέλα Cutter αφορά την γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου δηλαδή την διάμετρο του κοπτικού, την διάμετρο του άξονα, το συνολικό μήκος του κοπτικού, το μήκος του κοπτικού κάτω από την βάση και το μήκος του κοπτικού κάτω από τον άξονα.



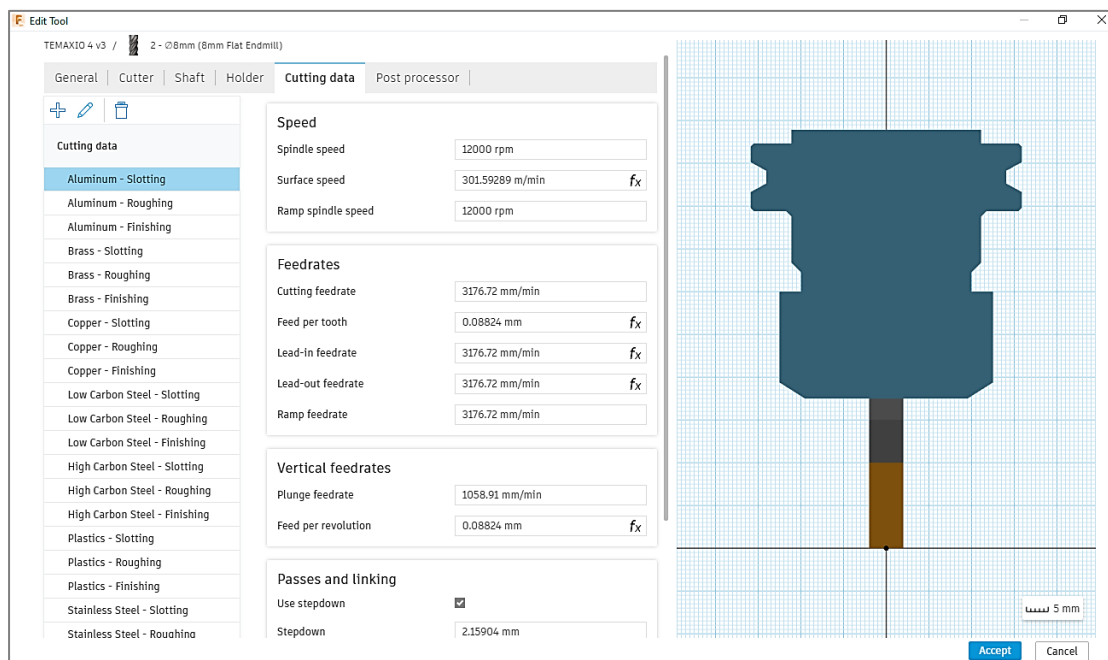
Εικόνα 2.43 : Μορφοποίηση κοπτικού εργαλείου.

Η καρτέλα holder απευθύνεται στην βάση του κοπτικού εργαλείου δηλαδή τον τρόπο συγκράτησής του. Στην βιβλιοθήκη του προγράμματος υπάρχει πληθώρα βάσεων από τις οποίες μπορούμε να επιλέξουμε οποία μας ικανοποιεί. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.44.



Εικόνα 2.44 : Καρτέλα Holder.

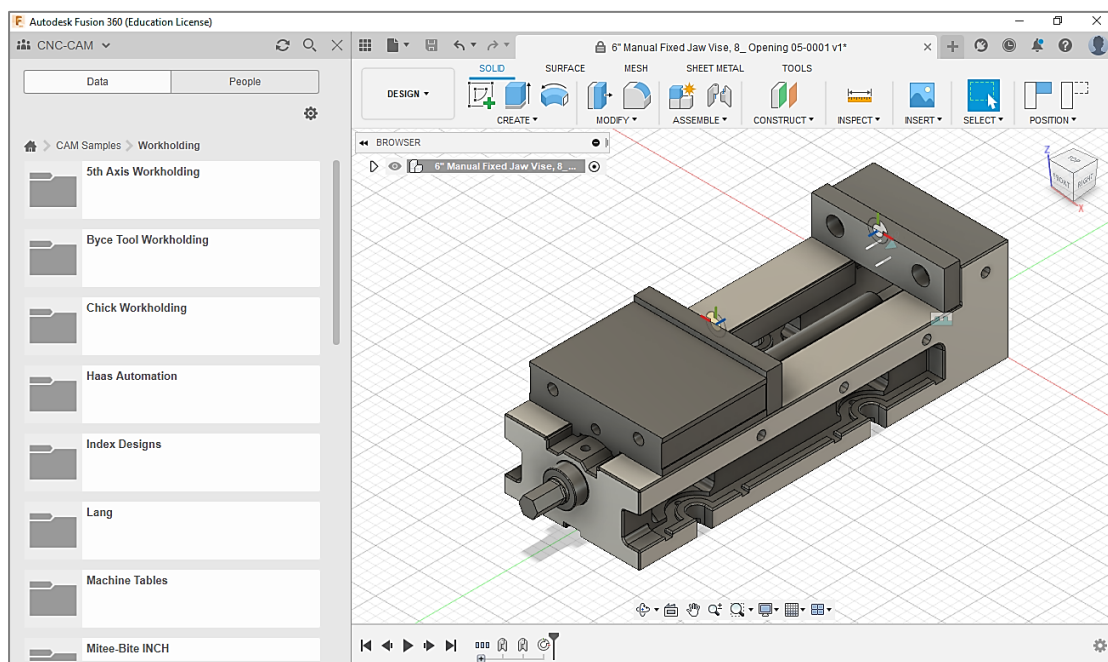
Τέλος στην καρτέλα Cutting data μπορούμε να ορίσουμε τις ταχύτητες για το κοπτικό καθώς και την ακρίβεια του κοπτικού εργαλείου δηλαδή αν θα χρησιμοποιηθεί για ξεχονδρίσματα ή για φινίρισμα. Βέβαια αυτές οι τιμές συνήθως βρίσκονται στην βιβλιοθήκη του προγράμματος για διαφορά υλικά.



Εικόνα 2.45

2.4 Συσκευές συγκράτησης

Οι συσκευές συγκράτησης είναι αντικείμενα ή συναρμολογήσεις που στοχεύουν στον προσανατολισμό και στη συγκράτηση των αντικειμένων κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Οι συσκευές συγκράτησης μπορούν να δημιουργηθούν χωριστά από την λειτουργία του προγραμματισμού της κατεργασίας και να ανακληθούν όταν απαιτούνται. Στο Fusion 360 υπάρχει βιβλιοθήκη με συσκευές συγκράτησης όπως μέγγενες, πλάκες στερέωσης, τσοκ και σιαγόνες.

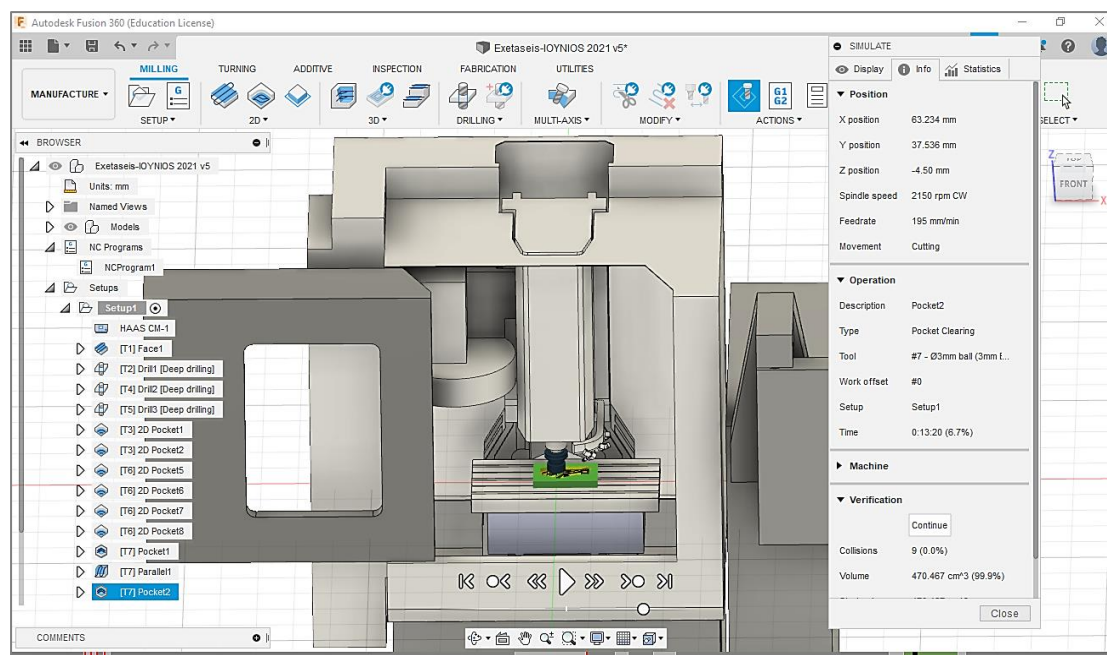


Εικόνα 2.46: Συσκευή συγκράτησης.

Σε πολλές περιπτώσεις η διαδικασία του προγραμματισμού μπορεί να εκτελεστεί χωρίς την προσθήκη των συσκευών συγκράτησης, αλλά η χρήση τους συνίσταται στην περίπτωση που έχουμε πολύπλοκες συσκευές, ώστε να ελεγχθεί το αποτέλεσμα της κατεργασίας για τυχόν παρεμβολές στην κίνηση του κοπτικού εργαλείου.

2.5 Προσομοίωση της κατεργασίας (simulation)

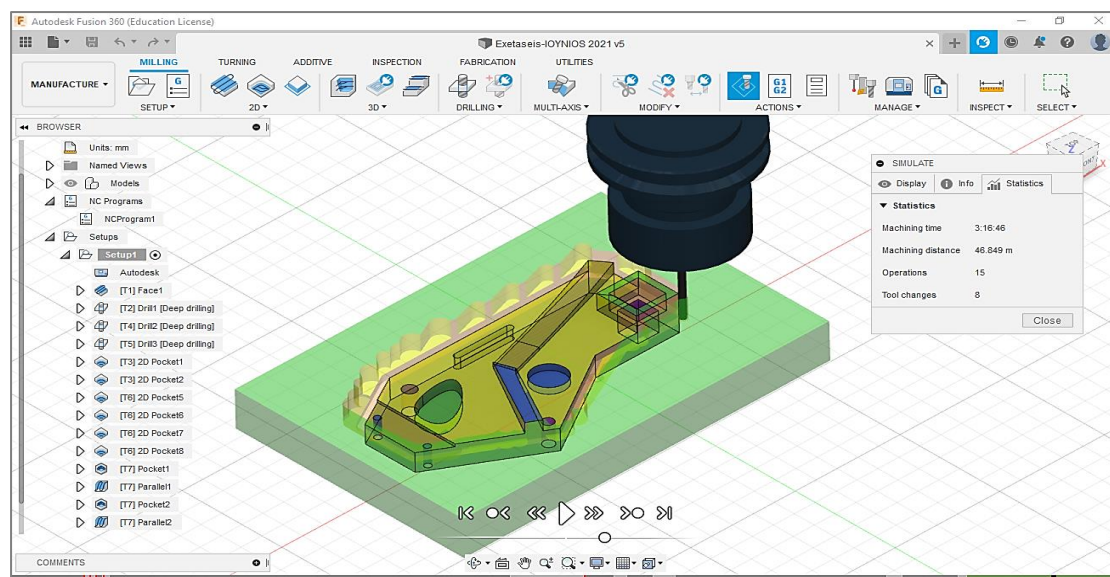
Η προσομοίωση της κατεργασίας γίνεται άμεσα στο πρόγραμμα αμέσως μετά την ολοκλήρωση μιας κατεργασίας ή στο τέλος του προγραμματισμού της εργαλειομηχανής. Σε πιο απαιτητικές εφαρμογές μπορεί να γίνει προσομοίωση όλης της εργαλειομηχανής για την επισκόπηση όλης της κατεργασίας στην οθόνη του υπολογιστή όπως φαίνεται στην εικόνα 2.47.



Εικόνα 2.47: Προσομοίωση κατεργασίας μαζί με την μηχανή.

Η λειτουργία αυτή μπορεί να συνδυαστεί και με την εικονική πραγματικότητα. Η απεικόνιση στη στερεά μοντελοποίηση γίνεται με την οπτικοποίηση της αλλαγής του στερεού μοντέλου κατά τη διάρκεια της κατεργασίας.

Υλοποιείται μέσω της δημιουργίας όγκων σάρωσης του κοπτικού εργαλείου κατά τη διάρκεια της κίνησης του και στη συνέχεια αφαίρεσης αυτών των όγκων από το στερεό μοντέλο. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ απαιτητική σε υπολογισμούς, αντ' αυτού χρησιμοποιούνται προσεγγιστικοί μέθοδοι. Το αντικείμενο μπορεί να προσεγγιστεί σε έναν ικανό αριθμό ορθογωνίων παραλληλεπίπεδων μικρού μεγέθους, ώστε το αντικείμενο να περιγράφεται με την επιθυμητή ακρίβεια. Το ύψος του ορθογωνίου αντιστοιχεί στο ύψος του στερεού μοντέλου και αναπροσαρμόζεται κάθε φορά ανάλογα με την κίνηση του κοπτικού εργαλείου.



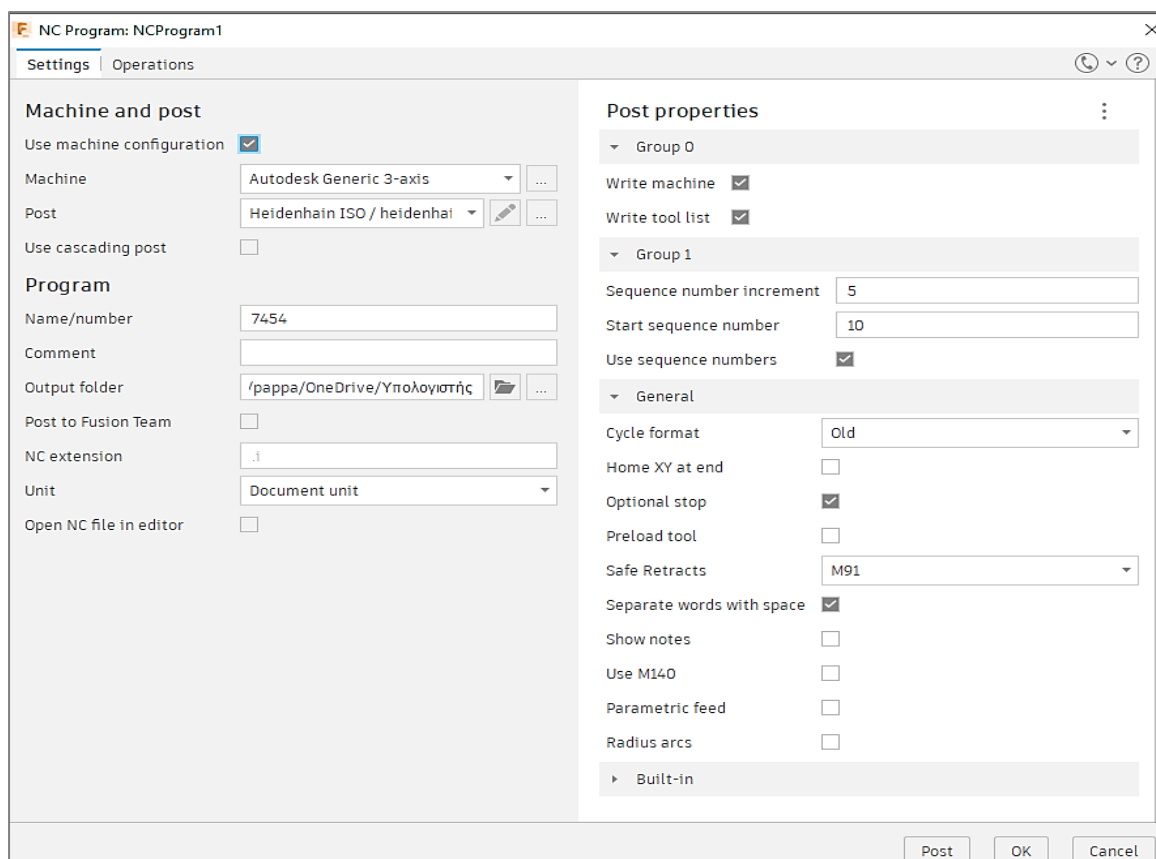
Εικόνα 2.48 : Προσομοίωση κατεργασίας χωρίς την μηχανή.

Σκοπός της προσομοίωσης της κίνησης είναι ο οπτικός έλεγχος για τυχόν προβλήματα στην κατεργασία, όπως:

- Παρεμβολές μεταξύ του κοπτικού εργαλείου και των συστημάτων οδήγησης και συγκράτησης του εξαρτήματος ή του τραπεζιού της εργαλειομηχανής, ιδιαίτερα για τις κινήσεις του κοπτικού εργαλείου στις οποίες αυτό μετακινείται χωρίς να κόβει δηλαδή στις γρήγορες κινήσεις επανατοποθέτησης.
- Ανάδειξη περιοχών στις οποίες δεν μπορεί να εισχωρήσει το εργαλείο με αποτέλεσμα να μην ολοκληρώνεται η κατεργασία ή περιοχές στις οποίες κόβει το κοπτικό εργαλείο χωρίς να πρέπει να κόψει.

2.6 Δημιουργία κώδικα

Για την σύνδεση του συστήματος προγραμματισμού κατεργασιών με εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης (Computer Numerical Control – CNC) απαιτείται η δημιουργία ενός κώδικα με την χρήση ενός τελικού επεξεργαστή που μεταφράζει το πρόγραμμα καθοδήγησης της εργαλειομηχανής CNC που δημιουργείται από το σύστημα CAM, στην ειδική γλώσσα που καταλαβαίνει το σύστημα ελέγχου της εργαλειομηχανής που συνήθως είναι της μορφής G – Code.



Εικόνα 2.49

Ο κώδικας είναι αναγνώσιμος και αποτελεί την πρώτη μέθοδο προγραμματισμού εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης που με βάση τη γεωμετρία και τις εντολές κατεργασίας μπορεί να δημιουργήσει το αρχείο θέσεων του κοπτικού εργαλείου. Για κάθε λειτουργία δημιουργείται και ένα αρχείο θέσεων του κοπτικού εργαλείου. Για διαφορετικές εργαλειομηχανές CNC τα σημεία κατεργασίας παραμένουν ίδια, όμως είναι διαφορετική η σύνταξη των εντολών και τη μετατροπή αυτή την κάνει ο τελικός επεξεργαστής που χρησιμοποιεί η κάθε εργαλειομηχανή CNC. Ο τελικός επεξεργαστής για μια εργαλειομηχανή συντάσσεται στην έναρξη λειτουργίας της μηχανής και μετά παραμένει αμετάβλητος.

```

7454 - Σημιωματ6ριο
Λογείο Επεξεργασία Μορφή Προβολή Βοήθεια
#7454 G71
N10 G30 G17 X+0. Y+0. Z-23.5
N15 G31 G90 X+175. Y+114.399 Z+0.
;T1 D=50. CR=0. - ZMIN=-3.5 - FACE MILL
;T2 D=3. CR=0. TAPER=118DEG - ZMIN=-24.401 - DRILL
;T3 D=6. CR=0. - ZMIN=-13.5 - FLAT END MILL
;T4 D=6. CR=0. TAPER=118DEG - ZMIN=-25.303 - DRILL
;T5 D=5. CR=0. TAPER=118DEG - ZMIN=-25.002 - DRILL
;T6 D=3. CR=0. - ZMIN=-23.5 - FLAT END MILL
;T7 D=3. CR=1.5 - ZMIN=-10.425 - BALL END MILL
N20 G00 G40 Z+0. M91
;FACE1
N25 T1 G17 S2150
N30 S2150 M03
N35 M08
N40 G00 X+207.5 Y+13.708
N45 Z+21.
N50 G00 Z+4.1
N55 I+202.5 K+4.1 G18 G03 X+202.5 Z-0.9 F195.
N60 G01 X+175.
N65 X+0.
N70 I+0. J+32.825 G17 G02 Y+51.941
N75 G01 X+175.
N80 I+175. J+71.058 G03 Y+90.174
N85 G01 X+0.
N90 I+0. K+4.1 G18 G03 X-5. Z+4.1
N95 G00 Z+6.
N100 X-32.5 Y+13.708
N105 Z+3.
N110 G01 Z+2.9 F195.
N115 I-27.5 K+2.9 G02 X-27.5 Z-2.1
N120 G01 X+0.
N125 X+175.
N130 I+175. J+32.825 G17 G03 Y+51.941
N135 G01 X+0.
N140 I+0. J+71.058 G02 Y+90.174
N145 G01 X+175.
N150 I+175. K+2.9 G18 G02 X+180. Z+2.9

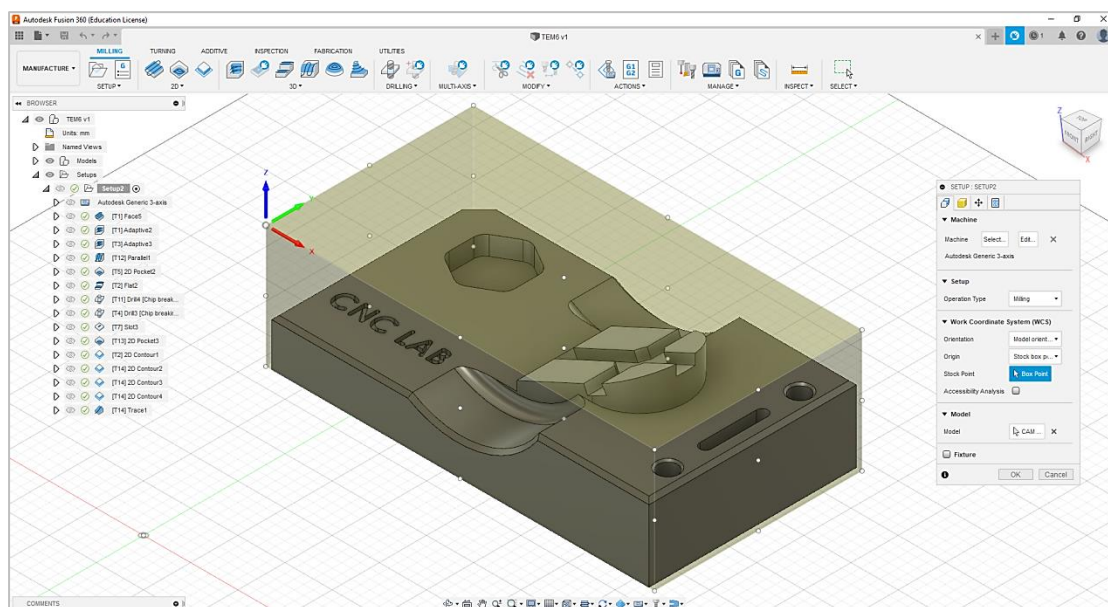
```

Εικόνα 2.50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

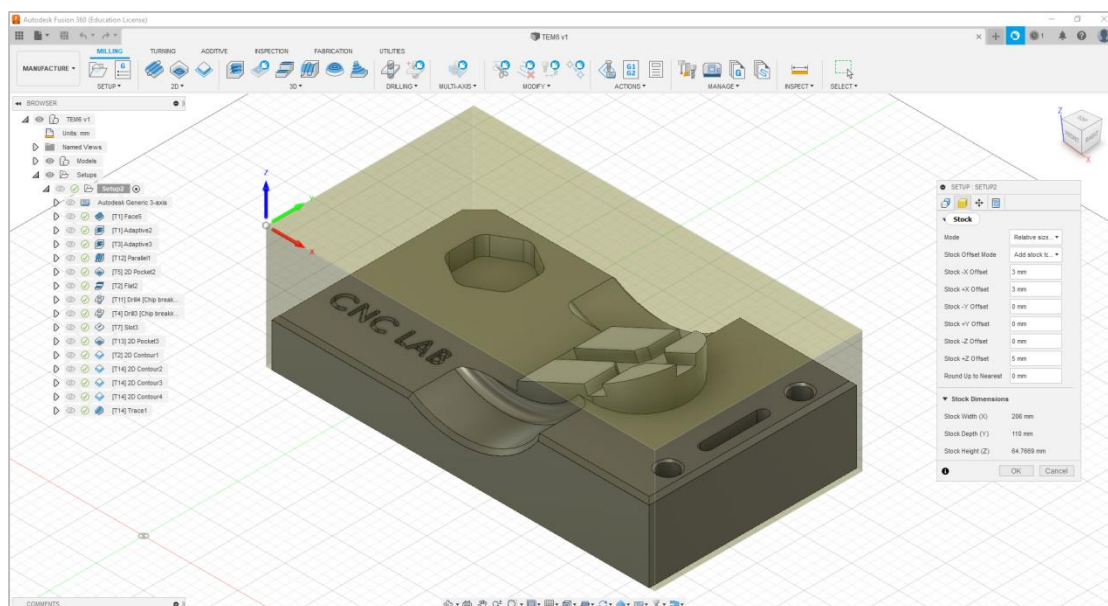
3.1 Δημιουργία προπλάσματος

Στο πρόγραμμα πριν ξεκινήσουμε την διαδικασία των κατεργασιών πρέπει να οριστούν κάποιες βασικές παράμετροι. Αρχικά γίνεται η επιλογή της εργαλειομηχανής που θα δουλέψουμε όπως και τα χαρακτηριστικά της καθώς και τις αρχικές διαστάσεις του προπλάσματος το οποίο θα κατεργαστούμε. Την εργαλειομηχανή επιπλέον την επιλέγουμε στο **Setup** όπου θα χρησιμοποιηθεί μια φρέζα τριών αξόνων και συγκεκριμένα την **Autodesk generic 3-axis**. Στη συνέχεια θα ορίσουμε το σημείο συντεταγμένων εργασίας(0,0) επιλέγοντας στο **Work Coordinate System(WCS)** το **Stock point** και θα το ορίσουμε στην γωνιά του προπλάσματος όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1

Έπειτα για να ορίσουμε το πρόπλασμα πηγαίνουμε στο **Stock** οπού εκεί μπορούμε να καθορίσουμε τις διαστάσεις αλλά και το σχήμα του προπλάσματος που θα κατεργαστούμε. Επιλέγουμε στο mode την επιλογή του **Relative Size Box** και τέλος δίνουμε τις διαστάσεις που επιθυμούμε για το πρόπλασμα X-Y-Z=206-110-64,7669 mm όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2 : Πρόπλασμα κομματιού.

3.2 Προγραμματισμός κατεργασιών

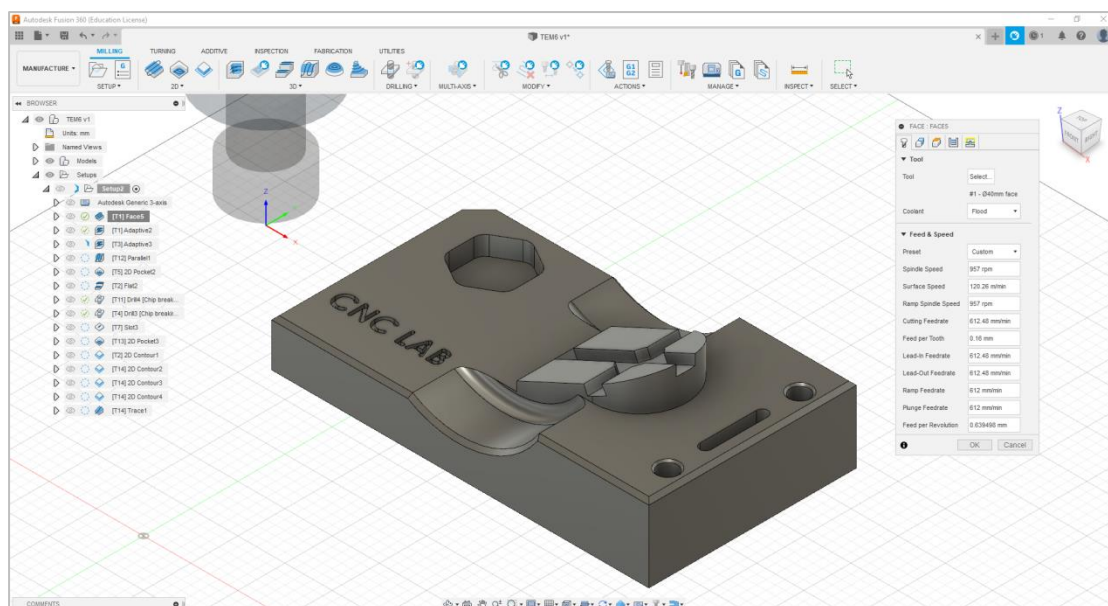
3.2.1. 1^η φάση κατεργασιών

Λόγω της γεωμετρίας του τεμαχίου όπου θα κατεργαστούμε και υπόψιν τους βαθμούς ελευθερίας της εργαλειομηχανής που θα χρησιμοποιηθεί είναι απαραίτητη η χρήση δύο προγραμμάτων για τους κύκλους κατεργασίας που θα γίνουν. Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη φάση κατεργασιών θα κατεργαστούν οι επίπεδες επιφάνειες του αντικειμένου και τα καμπύλά τμήματα. Στην δεύτερη φάση κατεργασιών θα κατεργαστούν οι κεκλιμένες επιφάνειες του αντικειμένου με την χρήση της κεκλιμένης μέγγενης η οποία θα μας εφαρμόζει το δοκίμιο σε κατάλληλη κλίση έτσι ώστε οι κεκλιμένες επιφάνειες να είναι παράλληλες στην κινητή τράπεζα.

- **Face**

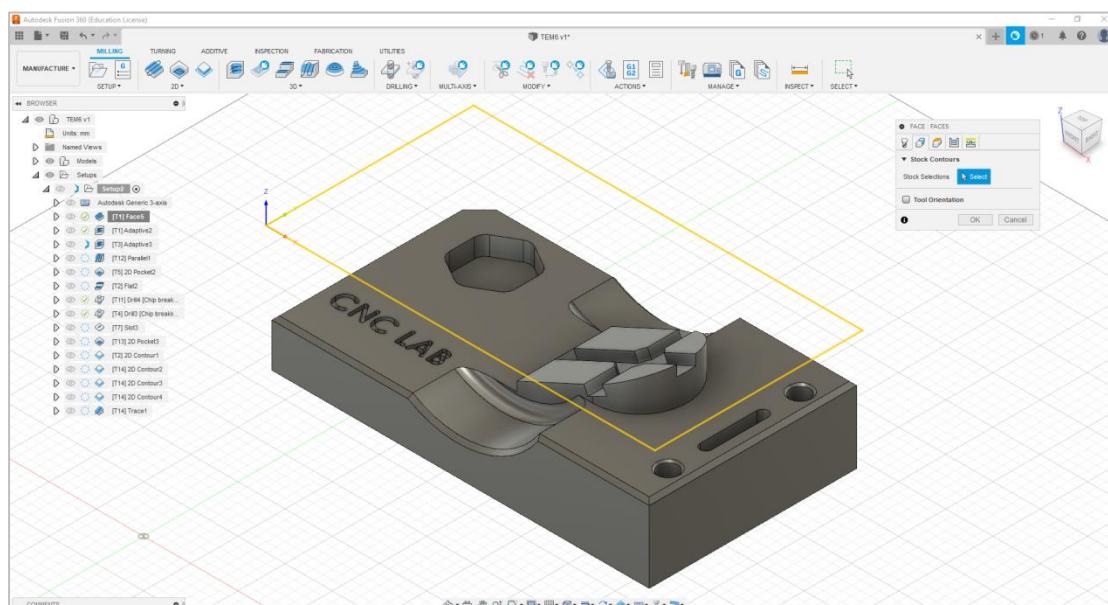
Ξεκινώντας την κατεργασία του τεμαχίου μας ακολουθούμε μια προκαθορισμένη σειρά, αρχίζουμε με τον καθαρισμό του προσώπου του τεμαχίου δηλαδή αφαιρούμε μερικά χιλιοστά από το πάνω μέρος του προπλάσματος ώστε να φτάσουμε στο προφίλ του αντικειμένου μας. Στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέγουμε την εντολή **Face** όπου το πρόγραμμα μας βγάζει στο μενού. Αρχικά θα ορίσουμε το κοπτικό εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουμε, στην συνέχεια το ψυκτικό μέσο που θα χρησιμοποιήσουμε και τέλος τις ταχύτητες που θα έχει το κοπτικό μας εργαλείο σε αυτή την κατεργασία.

Το κοπτικό εργαλείο το επιλέγουμε στο **tool** όπου μας εμφανίζει μια καρτέλα που μπορούμε να επιλέξουμε κοπτικά εργαλεία. Όπως προαναφέραμε μας δίνεται μια μεγάλη γκάμα κοπτικών εργαλείων από την βιβλιοθήκη του Fusion360, για την συγκεκριμένη κατεργασία επιλέξαμε ένα κοπτικό **Face mill** με διάμετρο 40mm. Για να ορισμού ψυκτικό μέσο πηγαίνουμε στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood** το οποίο αναφέρεται στην ροή του ψυκτικού υγρού με σωληνάκι.



Εικόνα 3.3 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Face.

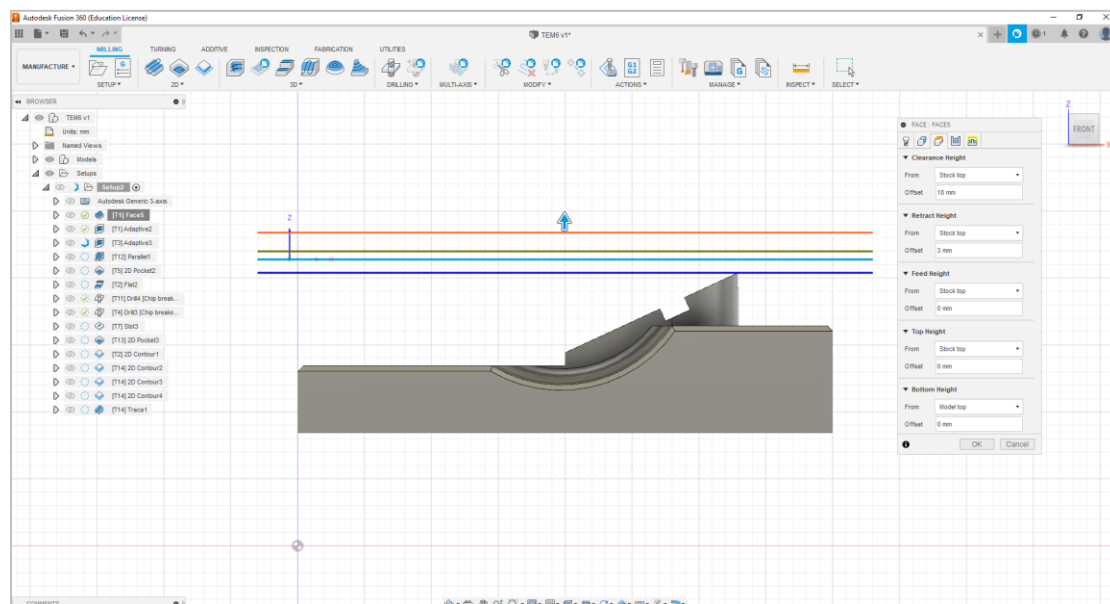
Για τις ταχύτητες θα επιλέξουμε στην ενότητα **Feed & Speed** το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές του κοπτικού εργαλείου μας ώστε να μην έχουμε καμία αστοχία. Επιλέξαμε ταχύτητα κοπής 120m/min, ταχύτητα περιστροφής 955 RPM, πρόωση ανά δόντι 0,1 mm/tooth, πρόωση 477mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,5 mm/rev.



Εικόνα 3.4 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Face.

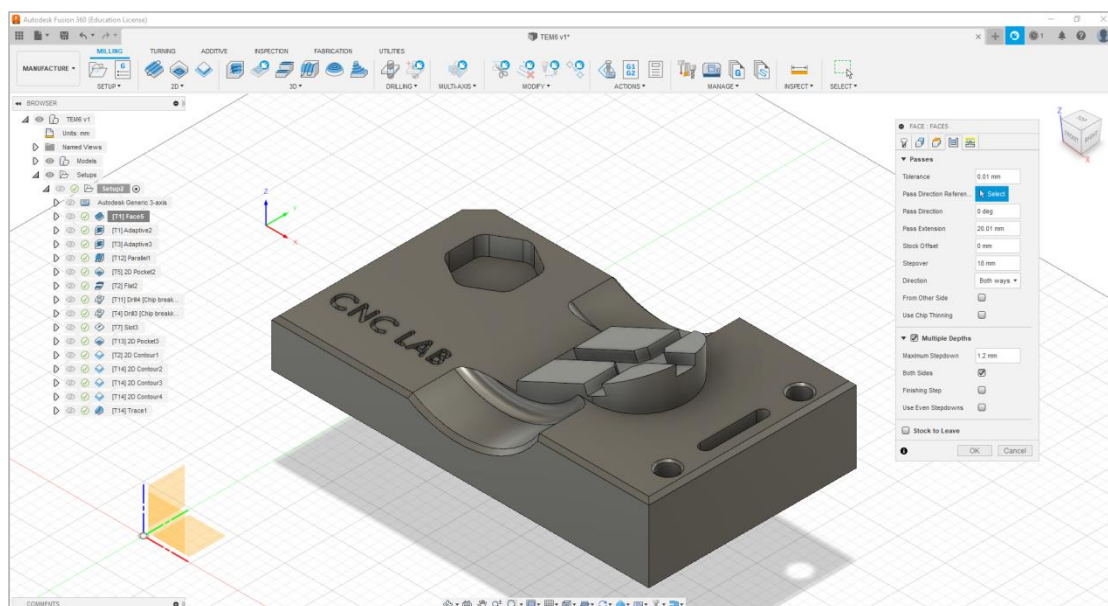
Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Stock Selection** μπορούμε να ορίσουμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.4.

Στην καρτέλα **Height** ορίζουμε διάφορα επίπεδα ώστε να αποτρέψουμε τυχόν συγκρούσεις του κοπτικού εργαλείου με το κομμάτι. Τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 3mm και τα **Feed Height**, τα **Top Height** και **Bottom Height** στα 0mm, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.5.



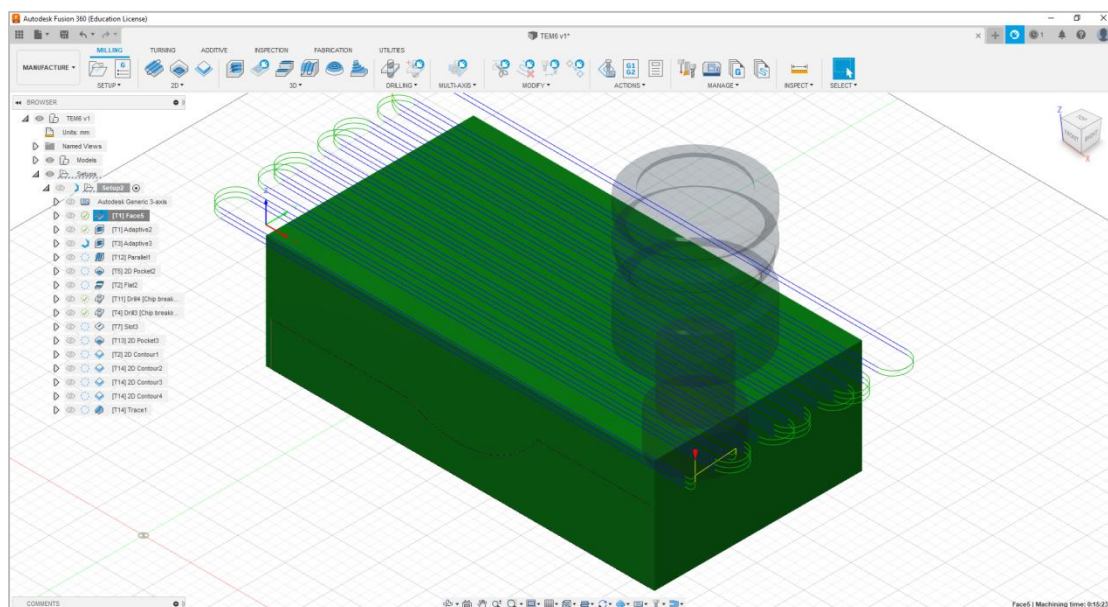
Εικόνα 3.5 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή Face.

- Το **Clearance Height** αναφέρεται στην απόσταση ελεύθερης κίνησης που θα πρέπει να έχει το κοπτικό μας από το κομμάτι.
- Το **Retract Height** αναφέρεται στο ύψος που πρέπει να μετακινηθεί το κοπτικό εργαλείο μας μετά από την εκτέλεση μια λειτουργίας.
- Το **Feed Height** υποδηλώνει την απόσταση ασφαλείας που θα πρέπει να έχει το κοπτικό μας και πολλές φορές ταυτίζεται με το Clearance Height.
- Το **Top Height** αναφέρεται στο μέγιστο ύψος του τεμαχίου που κατεργαζόμαστε
- και τέλος το **Bottom Height** αναφέρεται στο κατώτατο ύψος που θα φτάσει το κοπτικό εργαλείο.



Εικόνα 3.6 : Επιλογή πορείας και βάθους για την εντολή face.

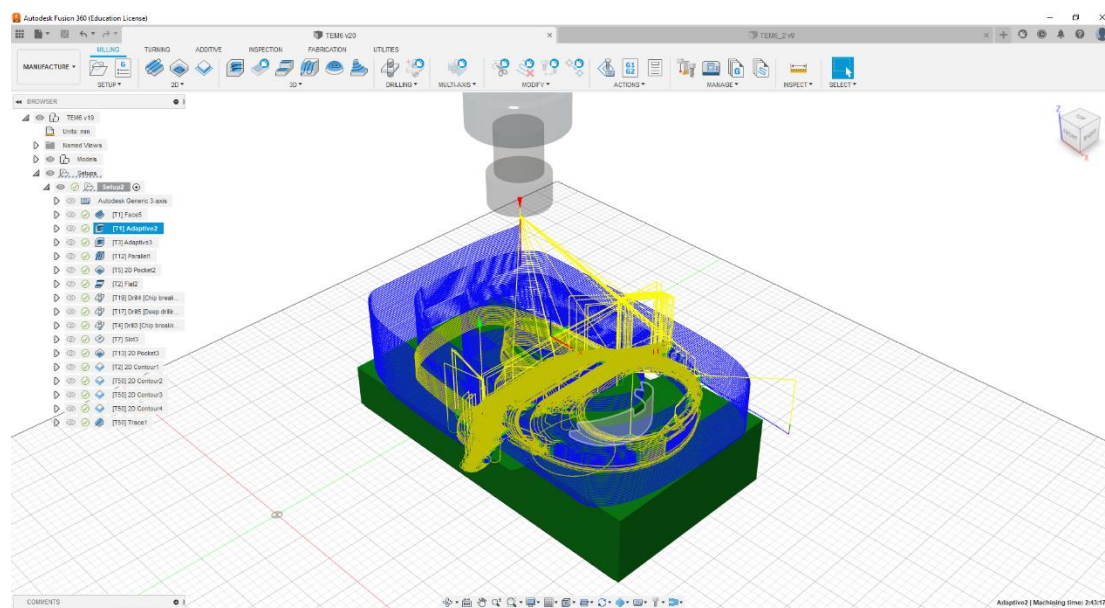
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** ορίζουμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, το βάθος το οποίο θα κόβει το κοπτικό μας και τα περάσματα που θα κάνει. Ακόμα μπορούμε να ορίσουμε εάν επιθυμούμε το κοπτικούς να κάνει φινιρίσμα. Στην συγκεκριμένη κατεργασία επιλέξαμε το **Multiple Depths** και ορίζουμε 1mm **Maximum Stepdown** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.7

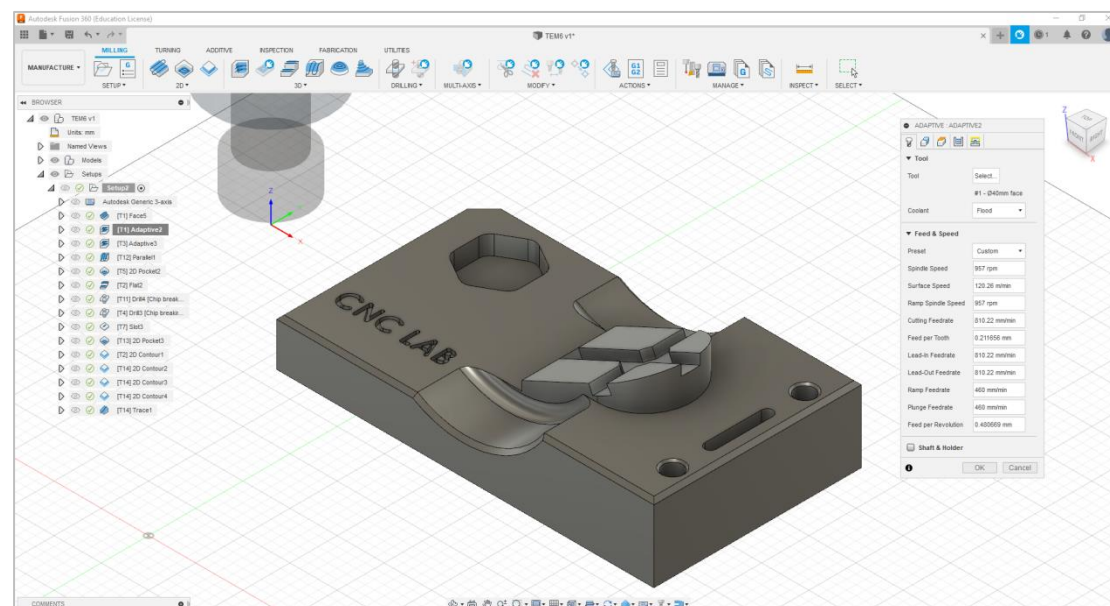
- **Adaptive 1**

Στην συνέχεια πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 3D και επιλέξαμε σαν δεύτερη κατεργασία την εντολή **Adaptive cleaning** διότι μας επιτρέπει να ορίσουμε μια στρατηγική ξεχονδρίσματος για να έχουμε μια αποτελεσματική εκκαθάριση μεγάλης ποσότητας υλικού, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.8.



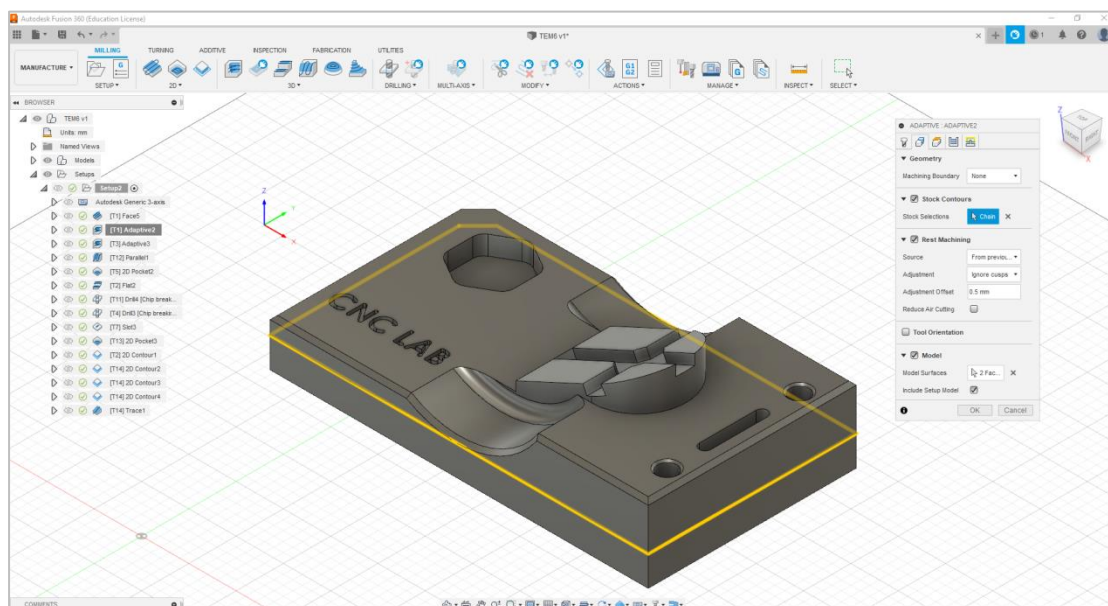
Εικόνα 3.8

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Face mill** με διάμετρο 40mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και επιλέξαμε ταχύτητα κοπής 120m/min, ταχύτητα περιστροφής 955 RPM, πρόωση ανά δόντι 0,1 mm/tooth, πρόωση 477mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,5 mm/rev.



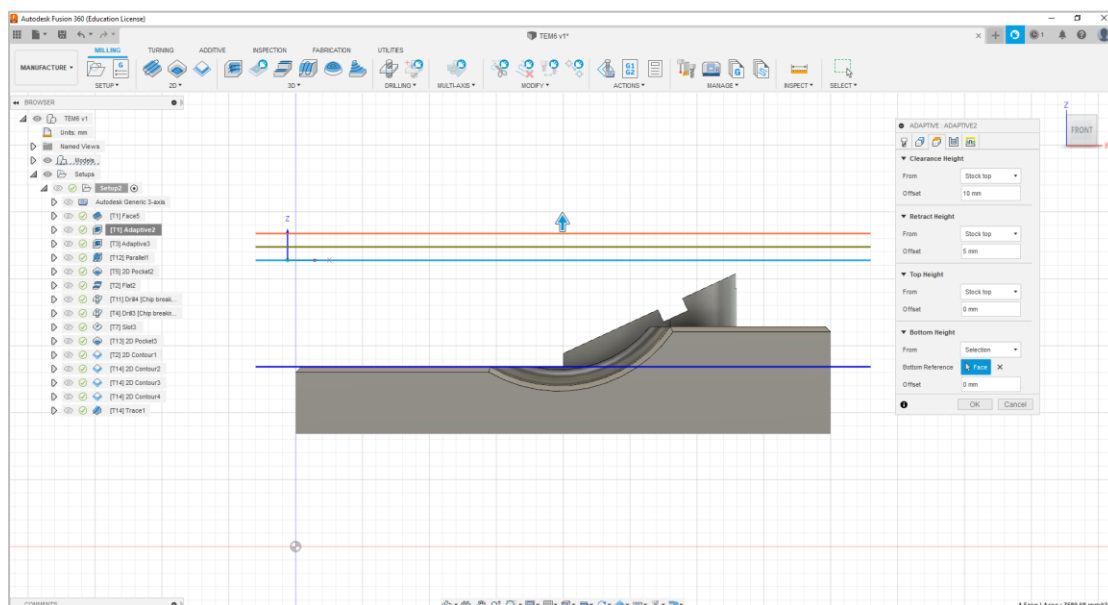
Εικόνα 3.9 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Adaptive.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Stock Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.10.



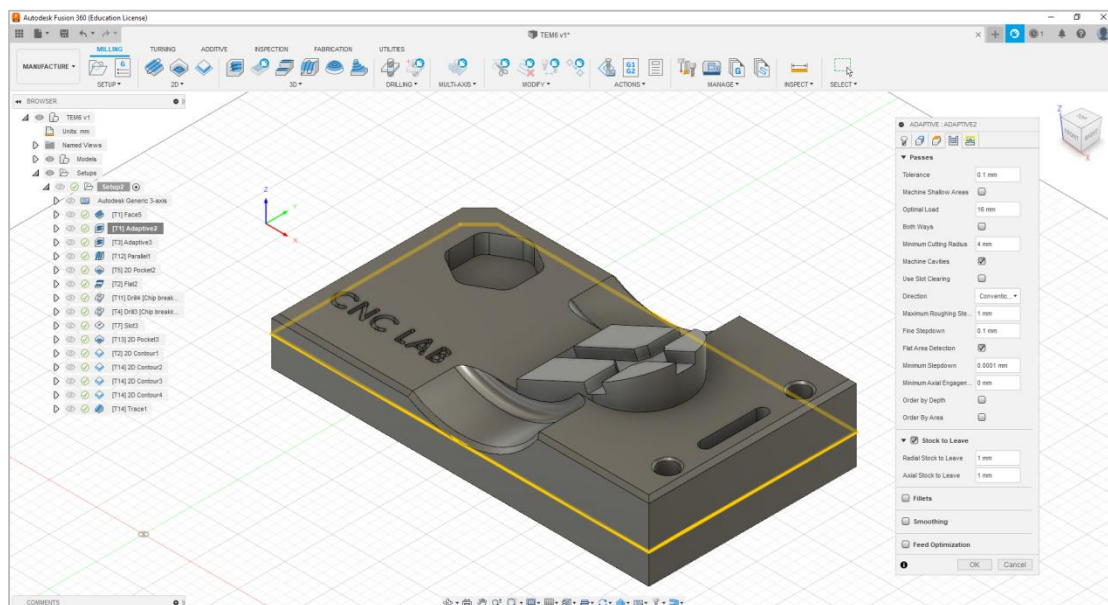
Εικόνα 3.10 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Adaptive .

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Top Height** στα 0mm και **Bottom Height** το ορίσαμε πάνω στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να είναι το κατώτατο ύψος που θα φτάσει το κοπτικό εργαλείο, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.11.



Εικόνα 3.11 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή Adaptive.

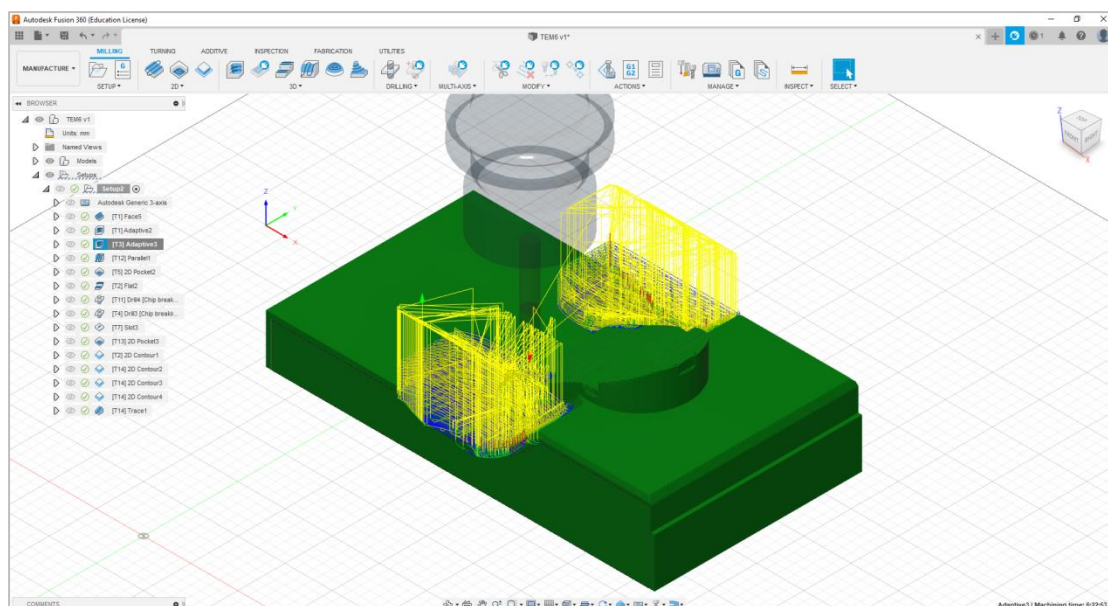
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.12 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου καθώς και το μέγιστο βάθος κοπής δηλαδή το **Maximum Roughing Stepdown** στο 1mm και το ελάχιστο βάθος κοπής δηλαδή το **Minimum Stepdown** στο 0,1mm. Ακόμη επιλέξαμε το **Stock to leave** στο 1mm διότι θέλουμε να απομένει λίγο υλικό για να μπορούμε να κάνουμε φινιρίσμα σε μια επόμενη κατεργασία.



Εικόνα 3.12 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς για την εντολή Adaptive .

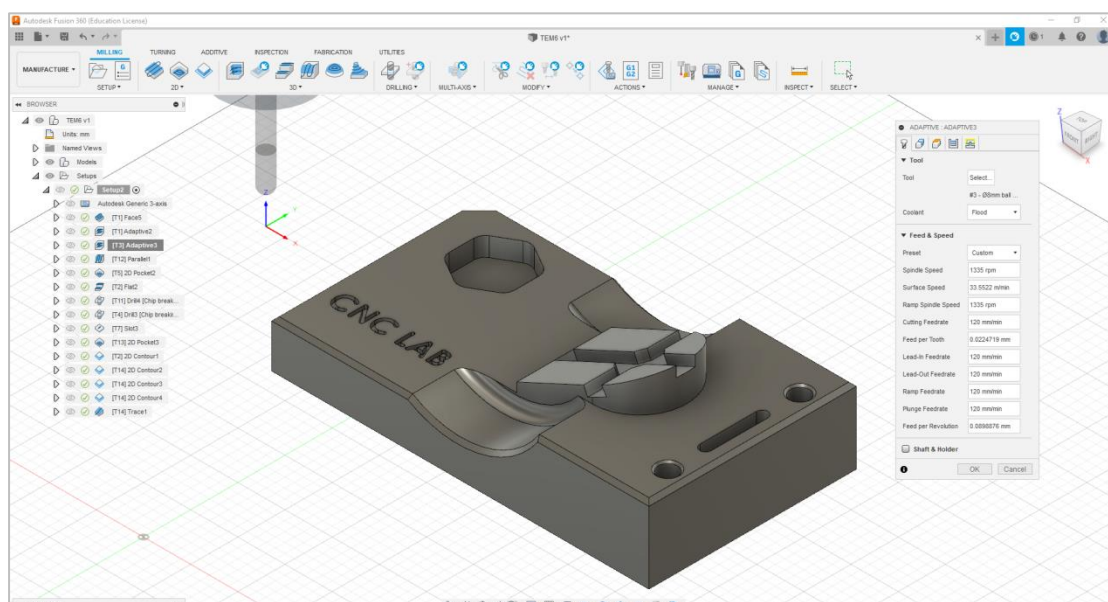
- **Adaptive 2**

Για την επιλογή της τρίτης κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 3D επιλέγουμε την ίδια εντολή με πριν δηλαδή την **Adaptive cleaning** διότι θέλουμε να κατεργαστούμε τα δυο αυλακιά που έχουμε στο τεμάχιο μας.



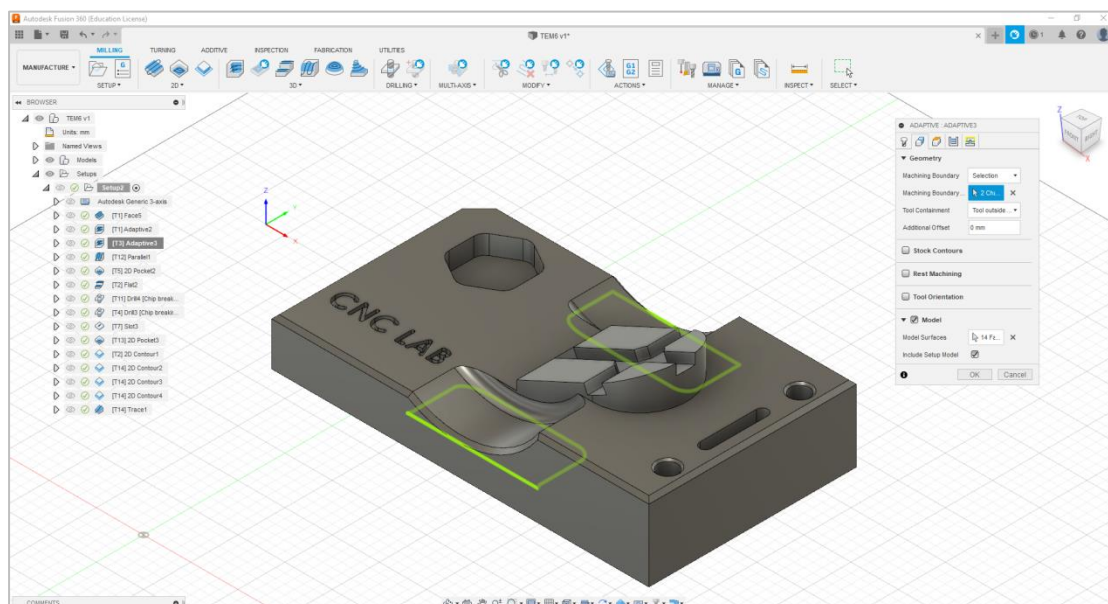
Εικόνα 3.13

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Ball end mill** με διάμετρο 8mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και ορίζουμε ταχύτητα κοπής 50m/min, ταχύτητα περιστροφής 1989 RPM, πρόωση ανά δόντι 0,044 mm/tooth, πρόωση 350mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,176 mm/rev.



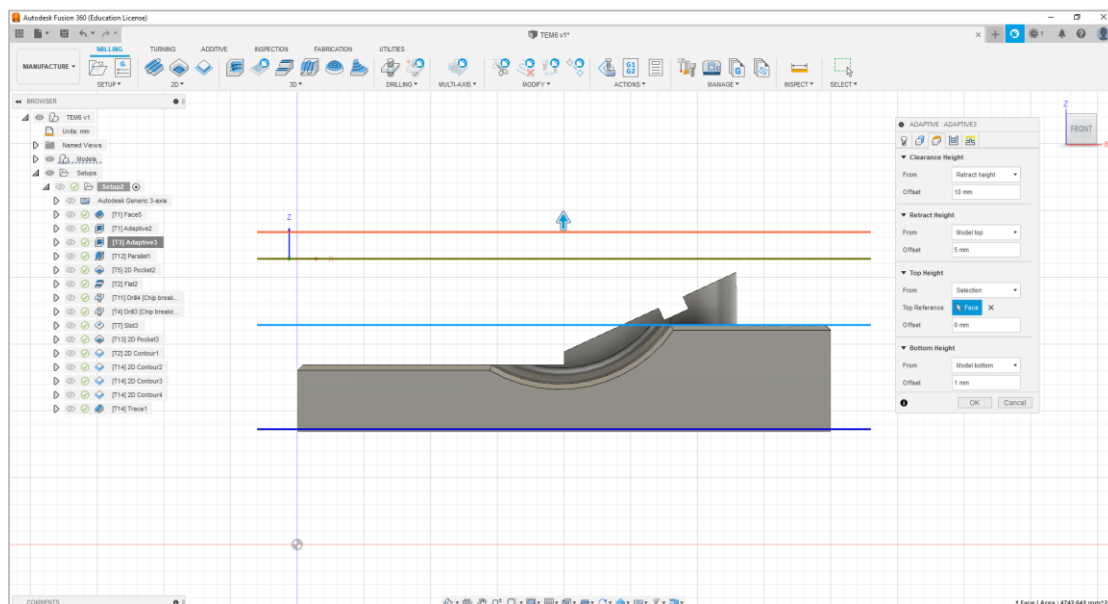
Εικόνα 3.14 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Adaptive2.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Machining Boundary Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας και επιλέγουμε και τα δυο αυλακιά, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.15.



Εικόνα 3.15 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Adaptive2.

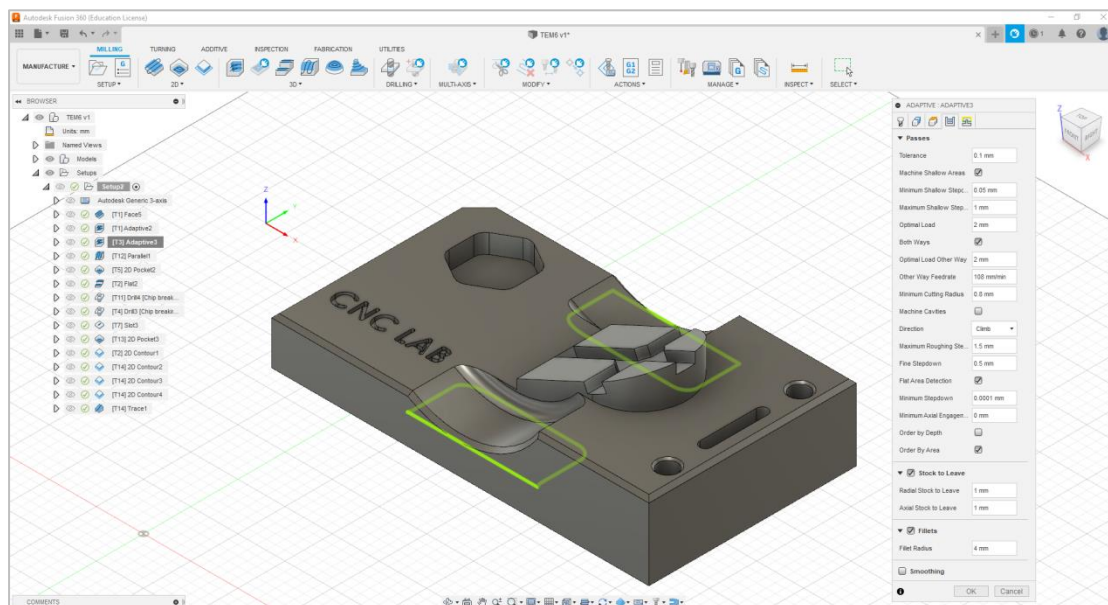
Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Top Height** το ορίσαμε πάνω στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να ξεκινήσει να κόβει το κοπτικό εργαλείο και **Bottom Height** το ορίσαμε στα 1mm, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.16.



Εικόνα 3.16 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή Adaptive2.

Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.17 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου καθώς και το μέγιστο βάθος κοπής δηλαδή το **Maximum Roughing Stepdown** στο 1.5mm και το ελάχιστο βάθος κοπής

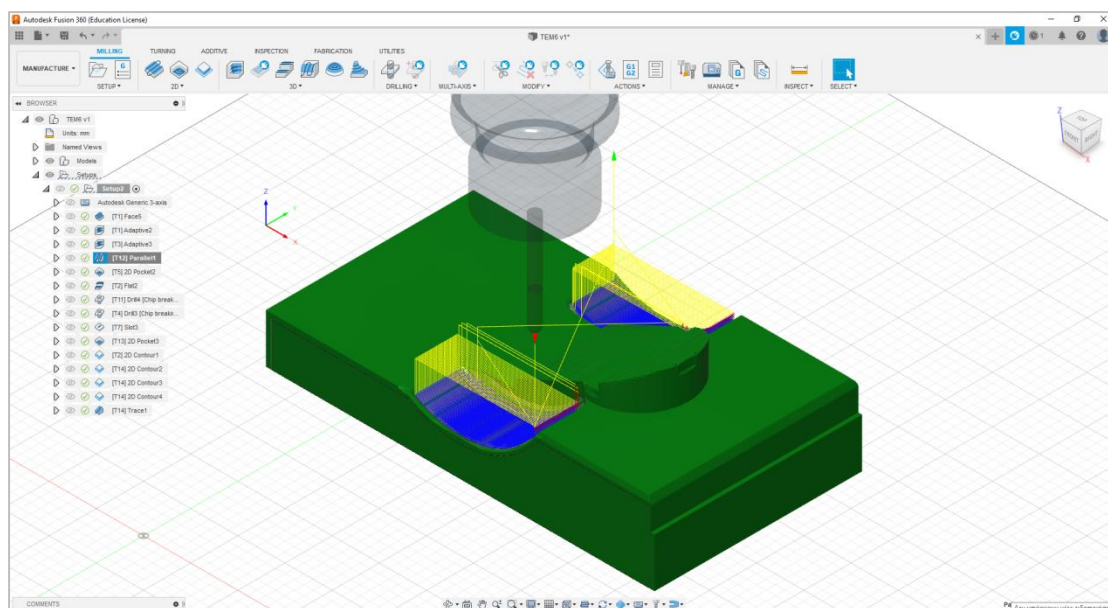
δηλαδή το **Minimum Stepdown** στο 0,0001mm. Ακόμη επιλέξαμε το Stock to Leave για να αφήσουμε υλικό για να κάνουμε φινιρίσμα σε μια επόμενη κατεργασία και ορίσαμε 1mm στα Radial Stock to Leave και Axial Stock to Leave



Εικόνα 3.17 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείας για την εντολή Adaptive2.

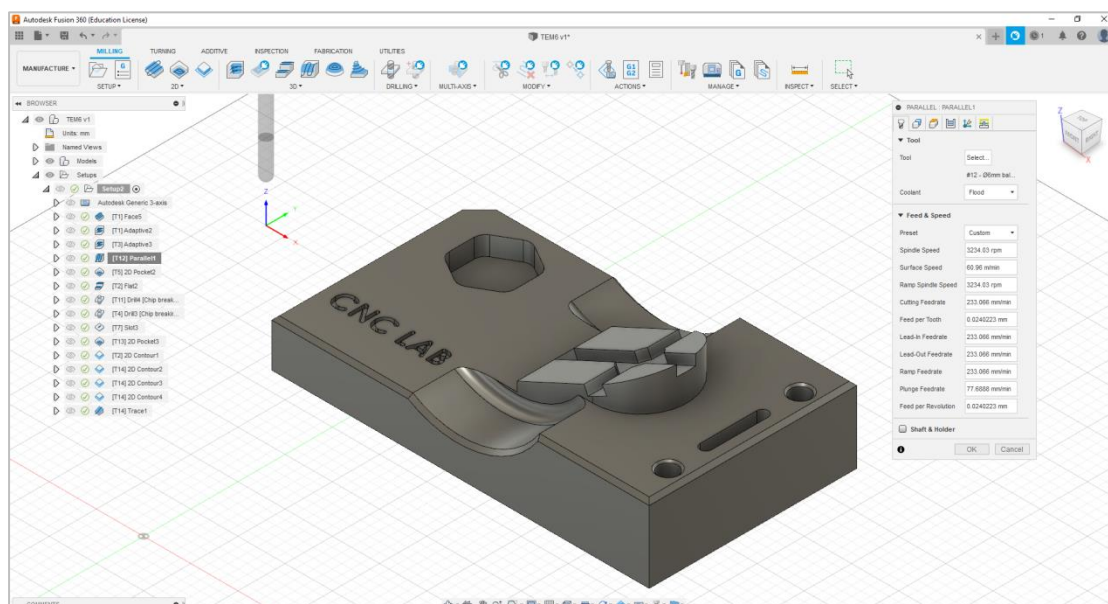
- **Parallel 1**

Για την επιλογή της πέμπτης κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 3D επιλέγουμε την εντολή **Parallel** διότι μας επιτρέπει να ορίσουμε μια στρατηγική φινιρίσματος για να έχουμε ένα αποτελεσματικό τελειώμα στα αυλακιά που έχουμε στο τεμάχιο.



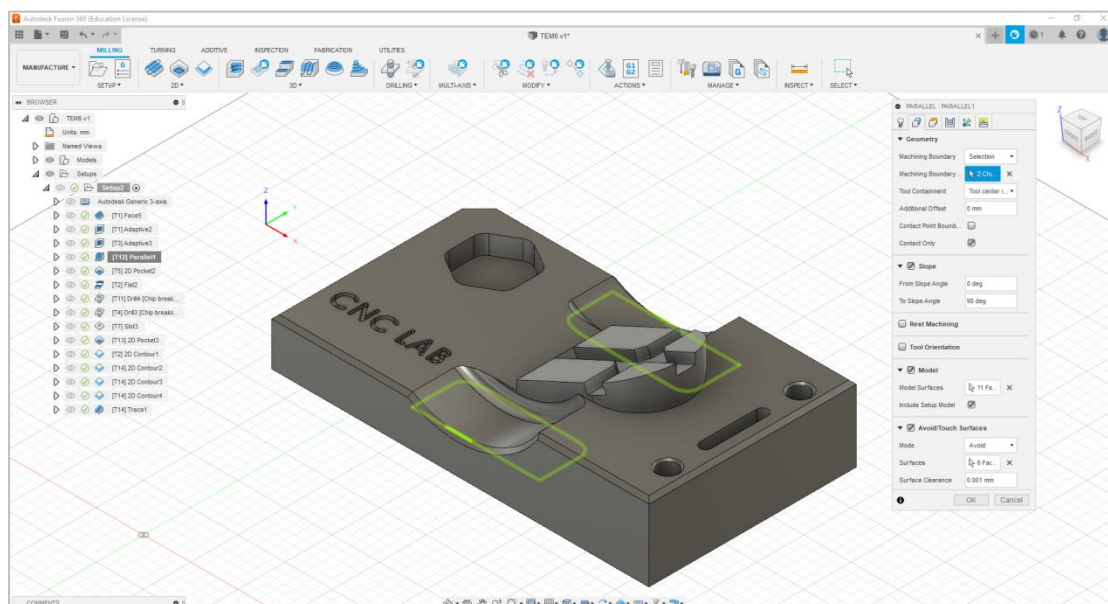
Εικόνα 3.23

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Ball end mill** με διάμετρο 6mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και ορίζουμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 2122RPM, πρόωση ανά δόντι 0,036 mm/tooth, πρόωση 153mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,072 mm/rev.



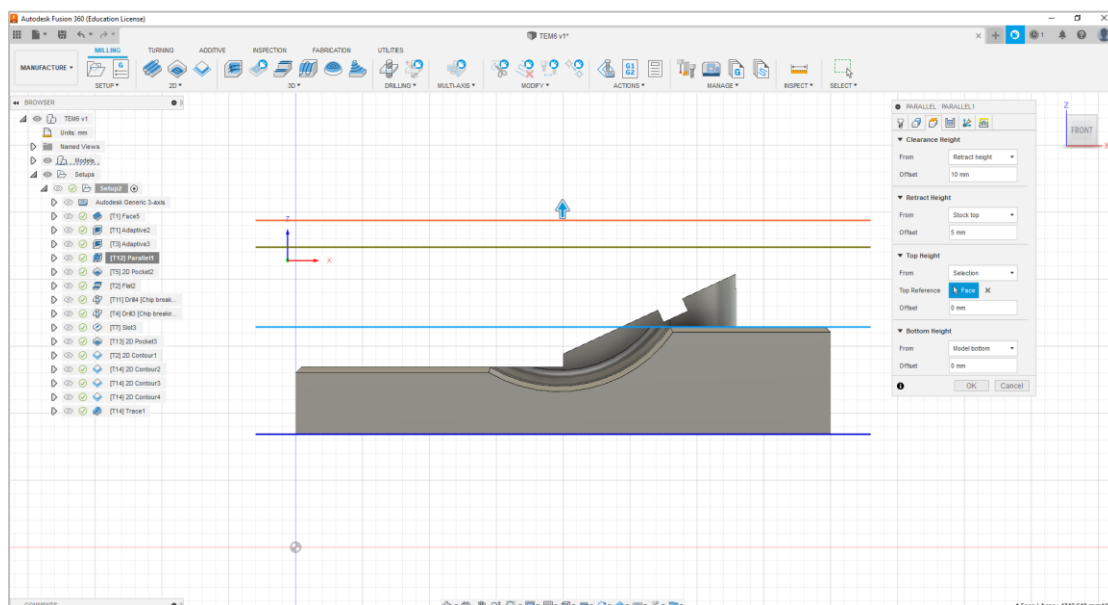
Εικόνα 3.24 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Parallel.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Machining Boundary Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας και επιλέγουμε και τα δυο αυλακιά, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.25.



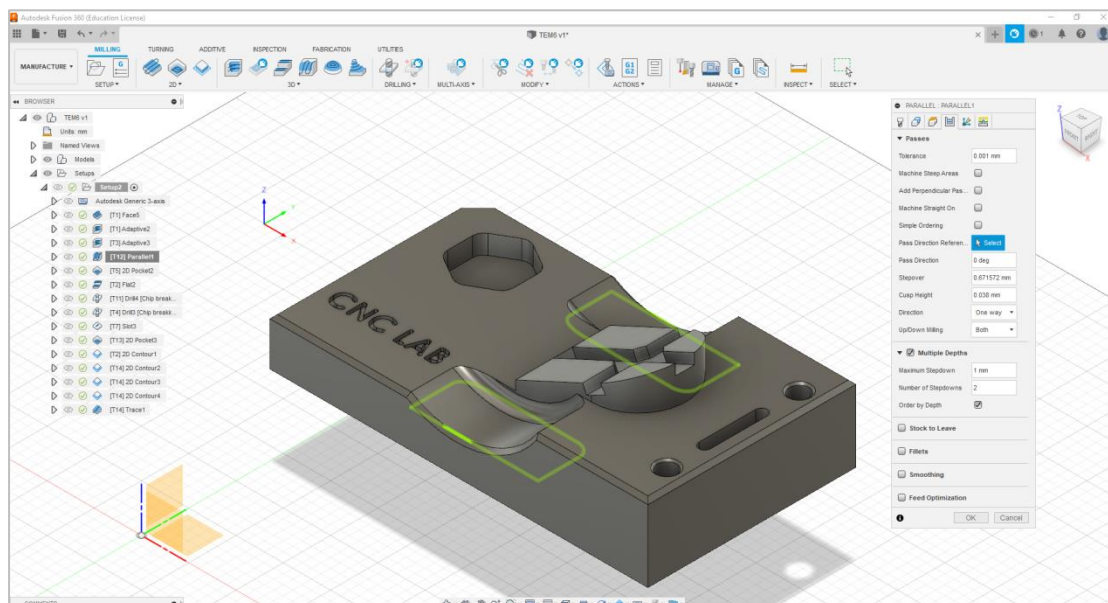
Εικόνα 3.25 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Parallel.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Top Height** το ορίσαμε πάνω στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να ξεκινήσει να κόβει το κοπτικό εργαλείο και **Bottom Height** το ορίσαμε στα 1mm, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.26.



Εικόνα 3.26 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή Parallel.

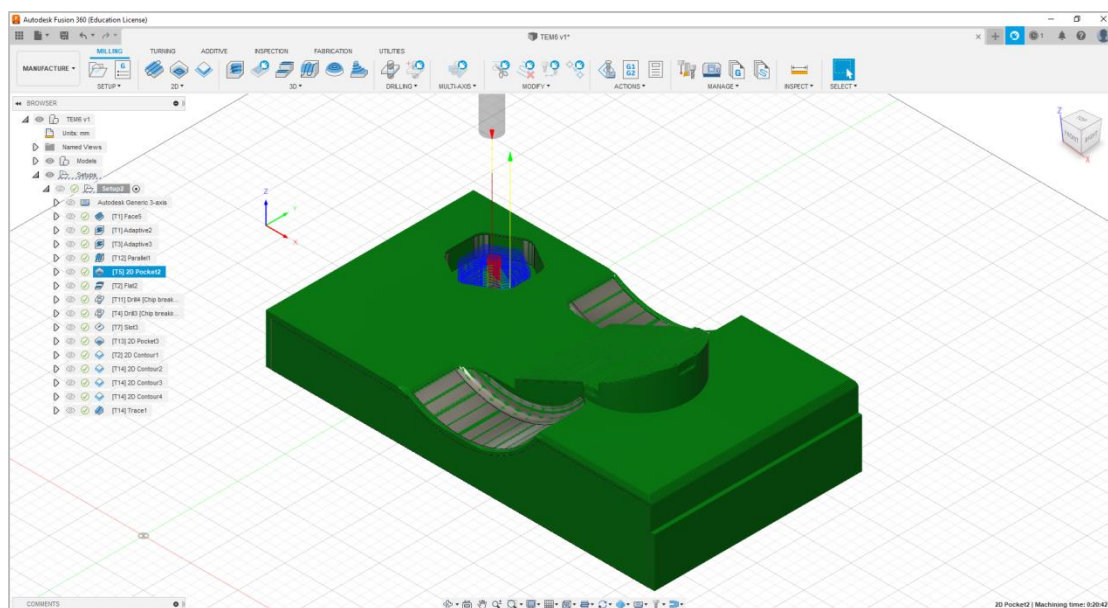
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.27 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Multiple Depths** και ορίζουμε 1mm **Maximum Stepdown** και στο **Number of Stepdowns** βάζουμε 2.



Εικόνα 3.27 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείας για την εντολή Parallel.

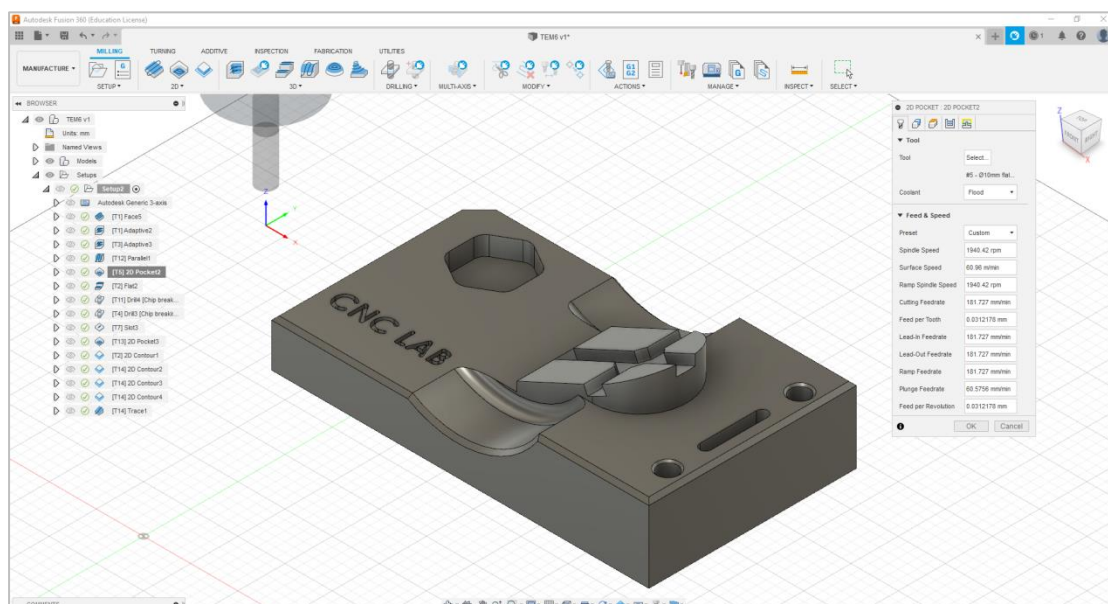
- **2D Pocket**

Για την επιλογή της έβδομης κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέγουμε την εντολή **2D Pocket** διότι δημιουργεί μια λειτουργία ξεχονδρίσματος που χρησιμοποιεί μια διαδρομή για το κοπτικό εργαλείο παράλληλη με την επιλεγμένη γεωμετρία.



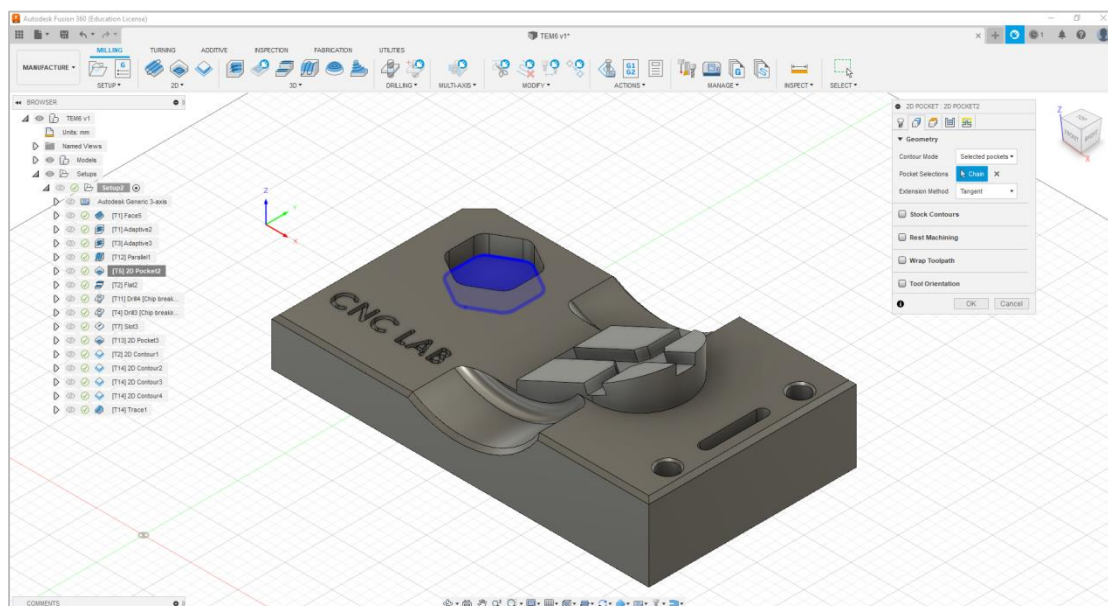
Εικόνα 3.33

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Flat end mill** με διάμετρο 10mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και ορίζουμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 1273RPM, πρόωση ανά δόντι 0,04mm/tooth, πρόωση 204mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,16mm/rev.



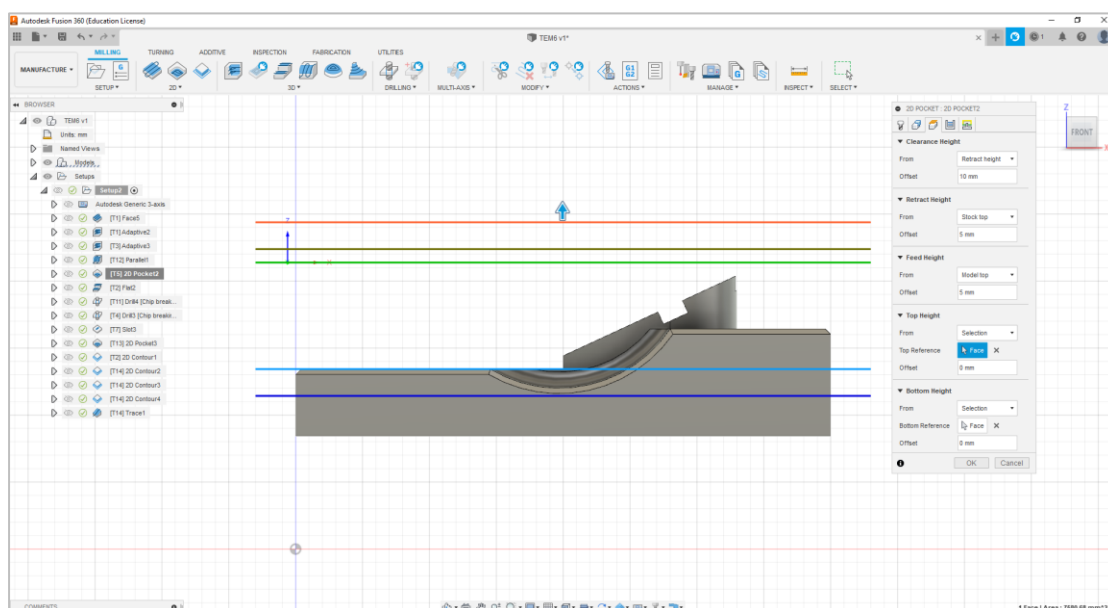
Εικόνα 3.34 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή 2D Pocket.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Pocket Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.35.



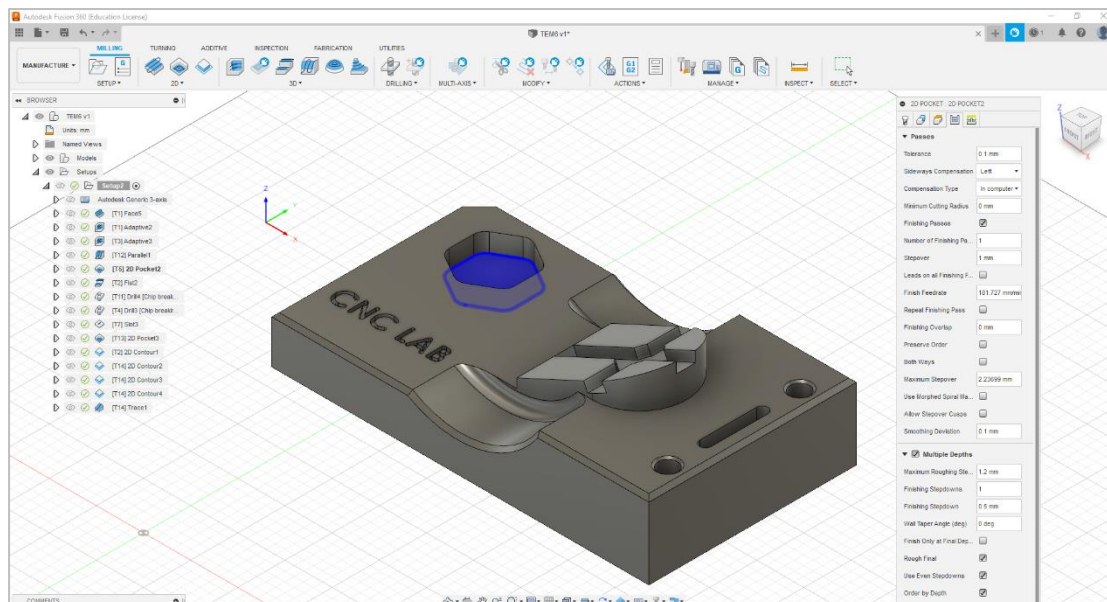
Εικόνα 3.35 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή 2D Pocket.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Top Height** το ορίσαμε πάνω στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να ξεκινήσει να κόβει το κοπτικό εργαλείο και **Bottom Height** το ορίσαμε στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να είναι το κατώτατο ύψος που θα φτάσει το κοπτικό εργαλείο, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.36.



Εικόνα 3.36 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή 2D Pocket.

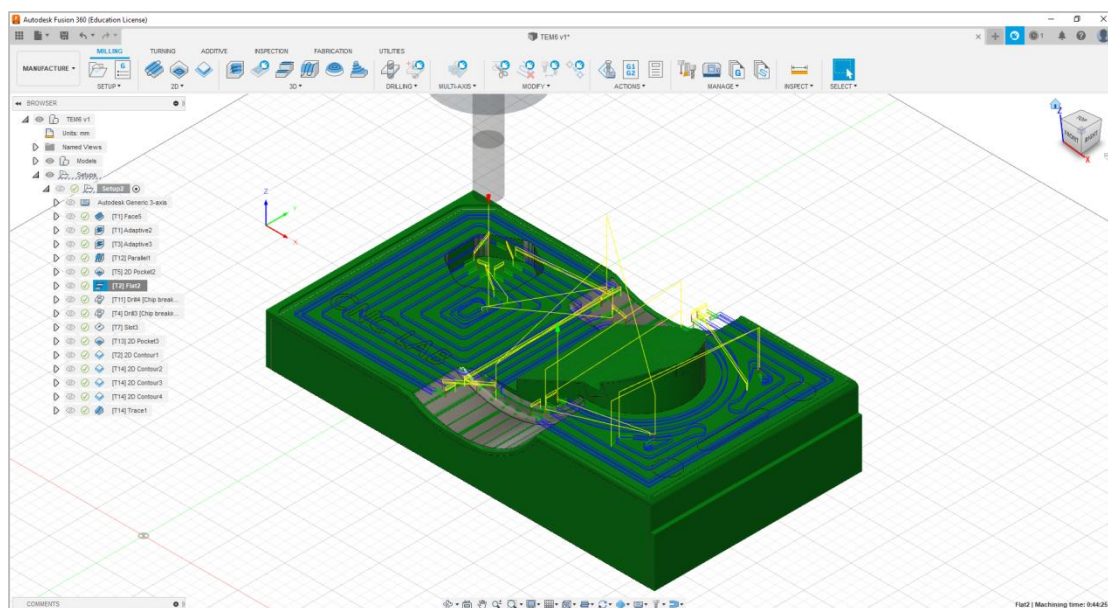
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.37 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Multiple Depths** και ορίζουμε 1,2mm **Maximum Stepdown** και στο **Number of Stepdowns** βάζουμε 1. Ακόμη επιλέγουμε και ένα πέρασμα φινίρισμα τον 0,5mm στο **Finishing Stepdown**.



Εικόνα 3.37 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς για την εντολή 2D Pocket.

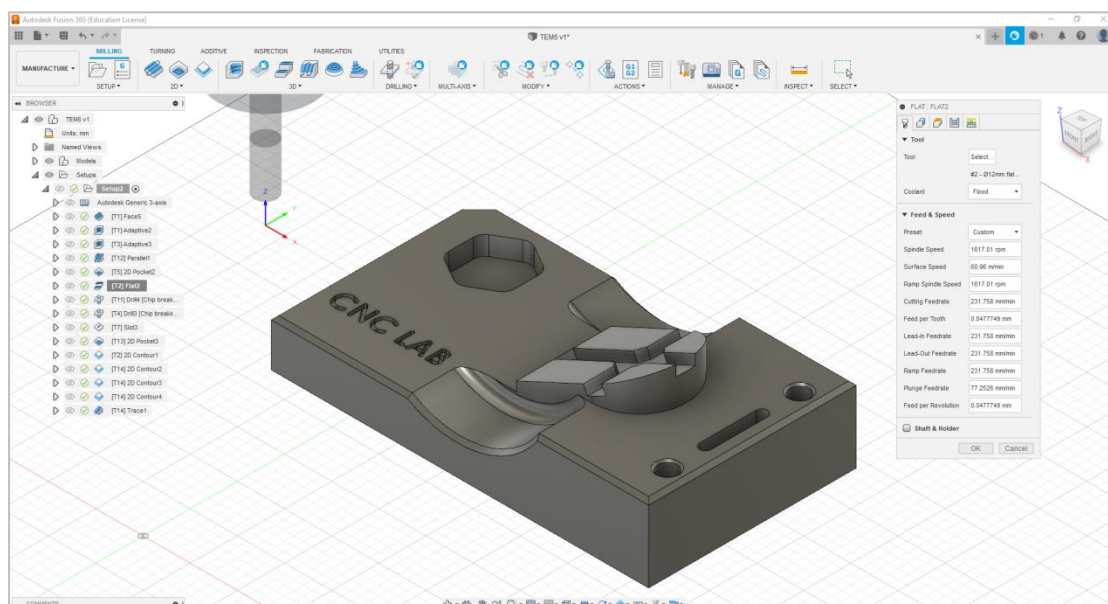
- **Flat**

Για την επιλογή της όγδης κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 3D επιλέγουμε την εντολή **Flat** διότι δημιουργεί μια λειτουργία φινιρίσματος που εντοπίζει αυτόματα όλες τις επίπεδες περιοχές ενός τμήματος που είναι κάθετες στον προσανατολισμό του κοπτικού εργαλείου.



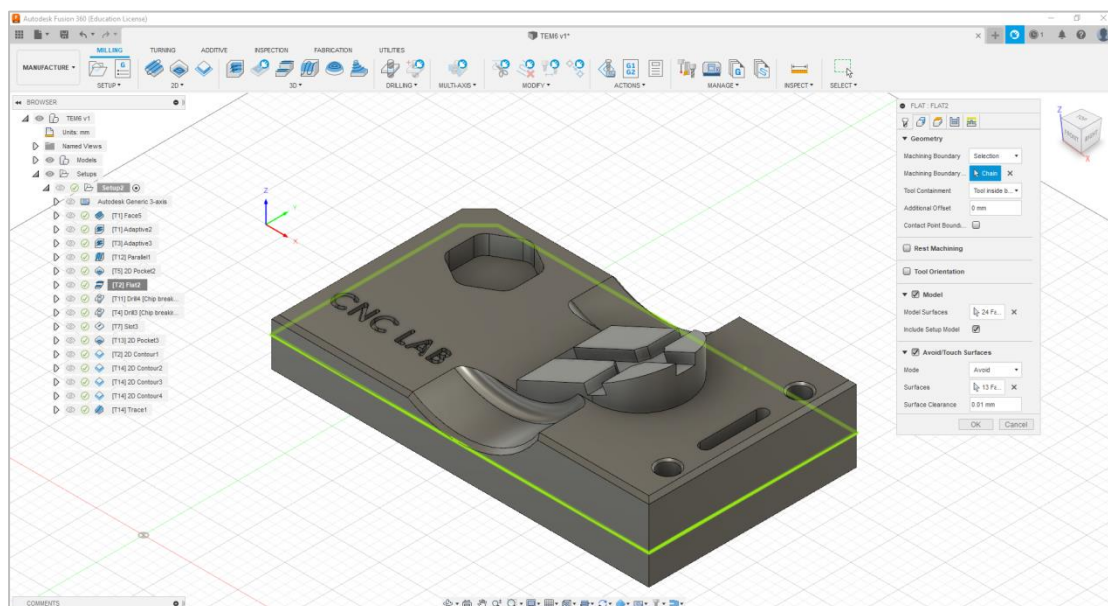
Εικόνα 3.38

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Flat end mill** με διάμετρο 12mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και επιλέξαμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 1061RPM, πρόωση ανά δόντι 0,06mm/tooth, πρόωση 255mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,24mm/rev.



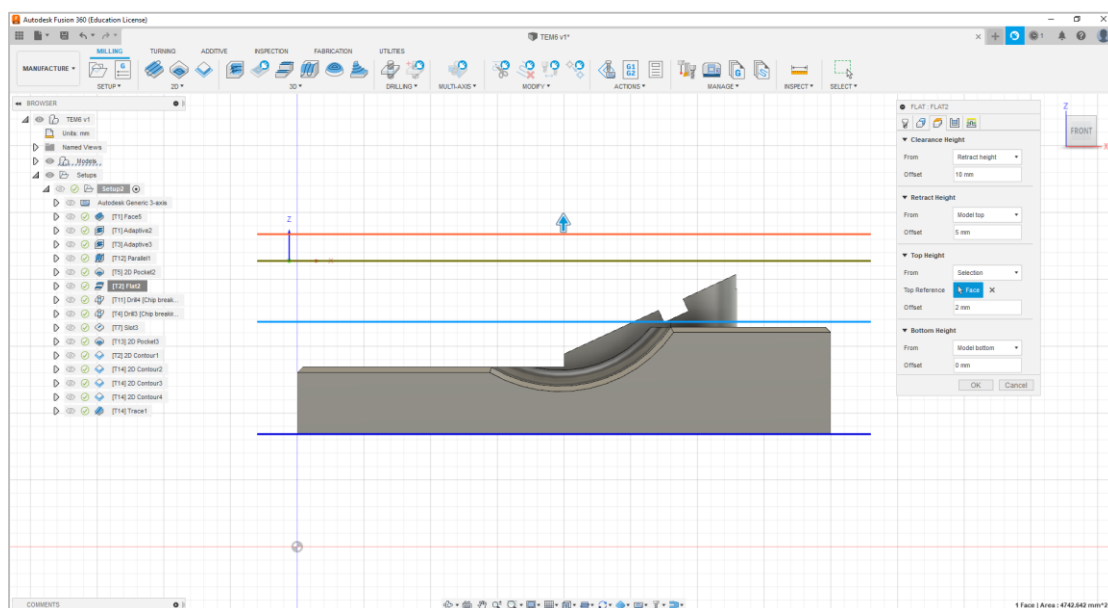
Εικόνα 3.39 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Flat.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Machining Boundary Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.40.



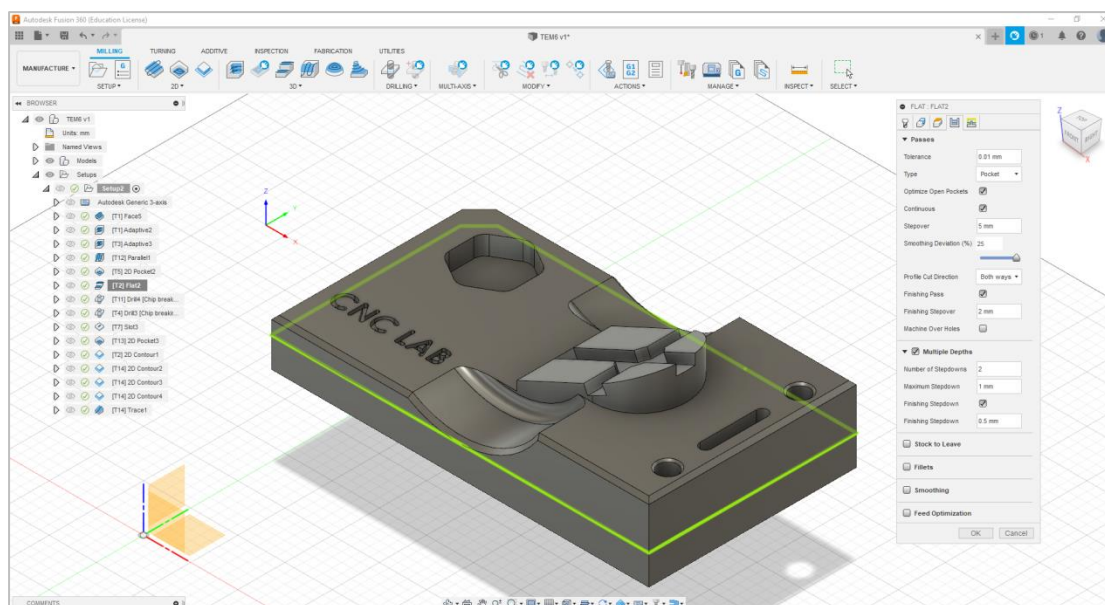
Εικόνα 3.40 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Flat.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Top Height** το ορίσαμε πάνω στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να ξεκινήσει να κόβει το κοπτικό εργαλείο και **Bottom Height** το ορίσαμε στα 0mm, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.41.



Εικόνα 3.41 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή Flat.

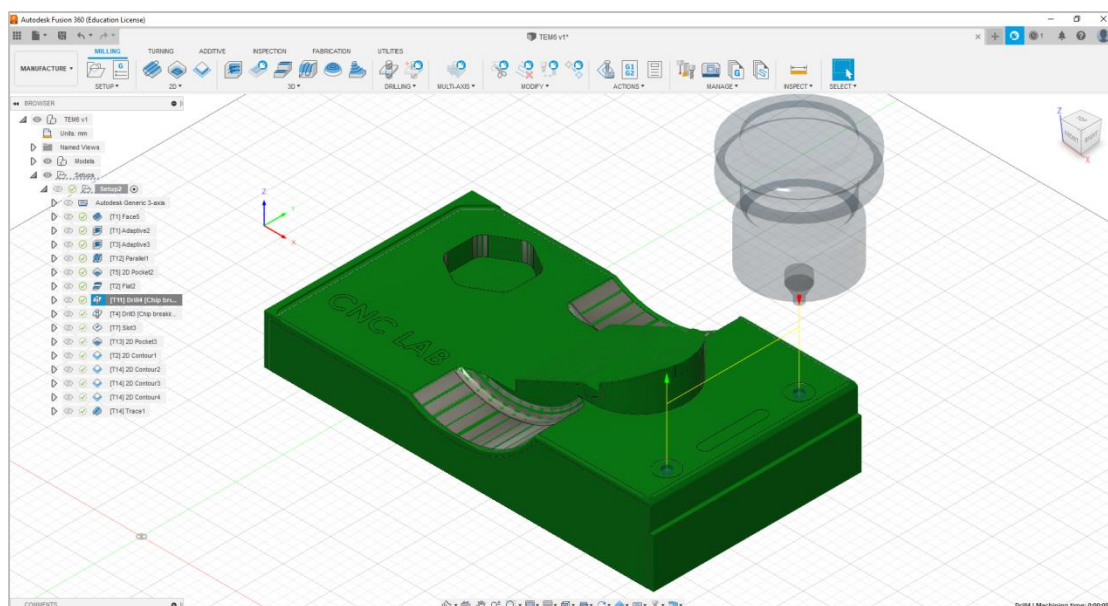
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.42 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Multiple Depths** και ορίζουμε 1mm **Maximum Stepdown** και στο **Number of Stepdowns** βάζουμε 2. Ακόμη επιλέγουμε και ένα πέρασμα φινιρίσματος τον 0,5mm στο **Finishing Stepdown**.



Εικόνα 3.42 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς για την εντολή Flat.

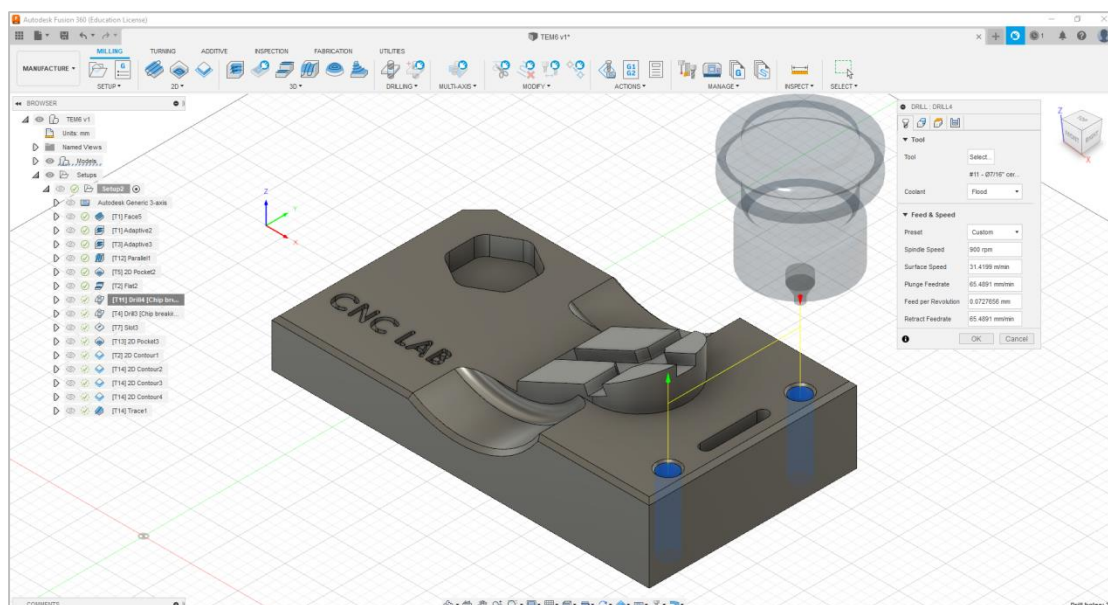
- **Drill**

Για την επιλογή της ένατης κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών οπών (Drilling) επιλέγουμε την εντολή **Drill** που μας παρέχει πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα εργασιών διάτρησης και δημιουργίας οπών.



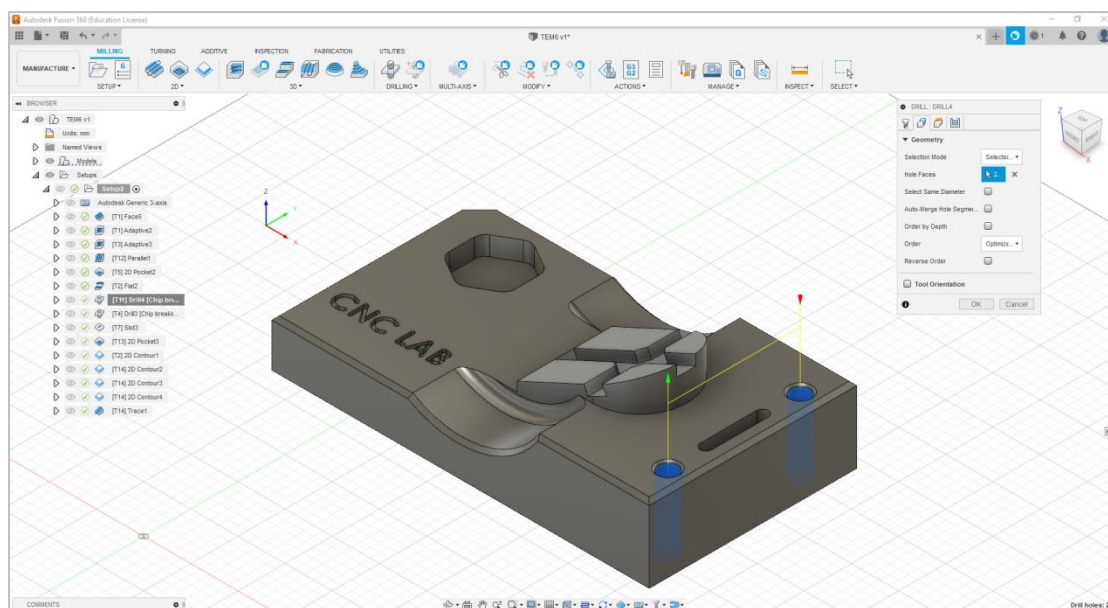
Εικόνα 3.43

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Center drill** με διάμετρο 3,15mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και επιλέξαμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 4042RPM και πρόωση ανά περιστροφή 0.05mm/rev.



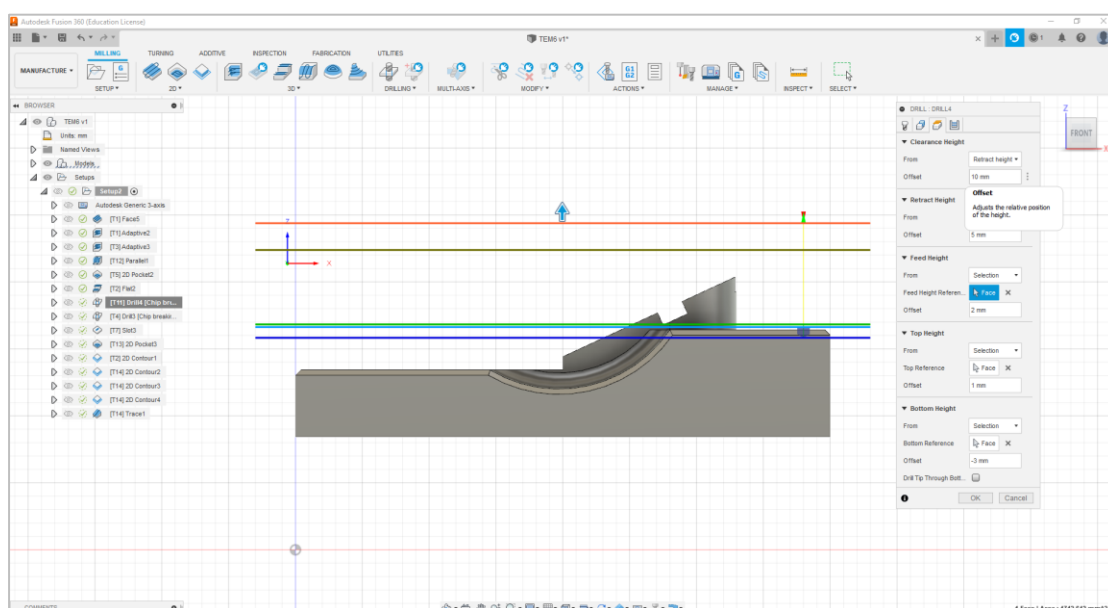
Εικόνα 3.44 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Drill.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Hole Faces** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.45.



Εικόνα 3.45 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Drill.

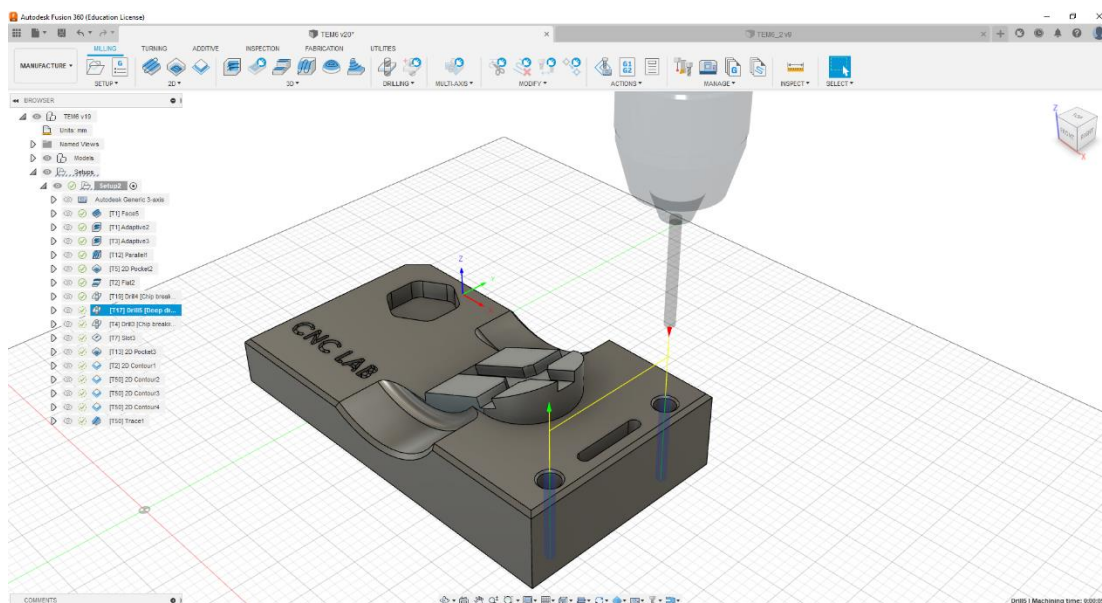
Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Feed Height** το ορίσαμε πάνω στην επιθυμητή επιφάνεια, το **Top Height** το ορίσαμε πάνω στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να ξεκινήσει να κόβει το κοπτικό εργαλείο και προσθέσαμε 1mm **Bottom Height** το ορίσαμε μέχρι το σημείο που θέλουμε να φτάσει το κοπτικό.



Εικόνα 3.46 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή Drill.

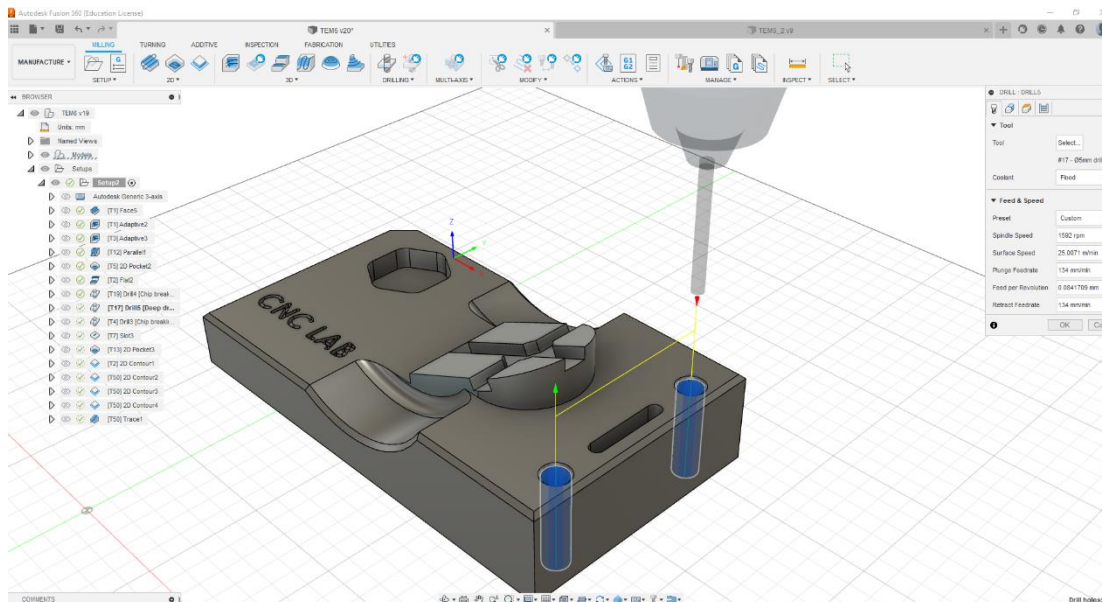
- **Drill 2**

Στην συνέχεια πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών οπών (Drilling) και επιλέξαμε σαν δέκατη κατεργασία την ίδια εντολή με πριν δηλαδή την **Drill**.



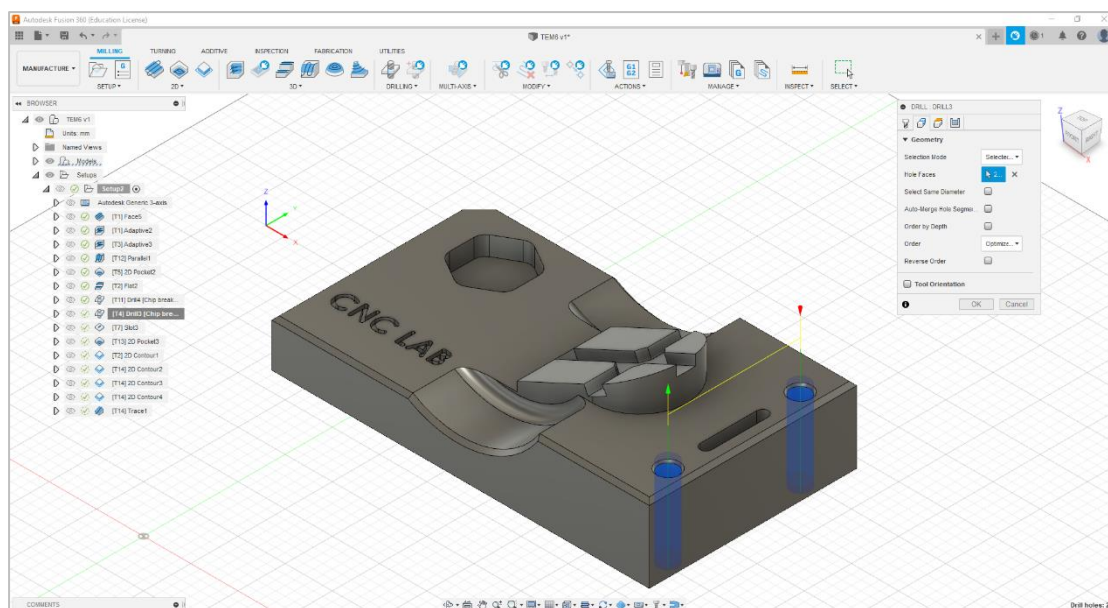
Εικόνα 3.47.1

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Center drill** με διάμετρο 5mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και ορίζουμε ταχύτητα κοπής 25m/min, ταχύτητα περιστροφής 1592RPM και πρόωση ανά περιστροφή 0,05mm/rev.



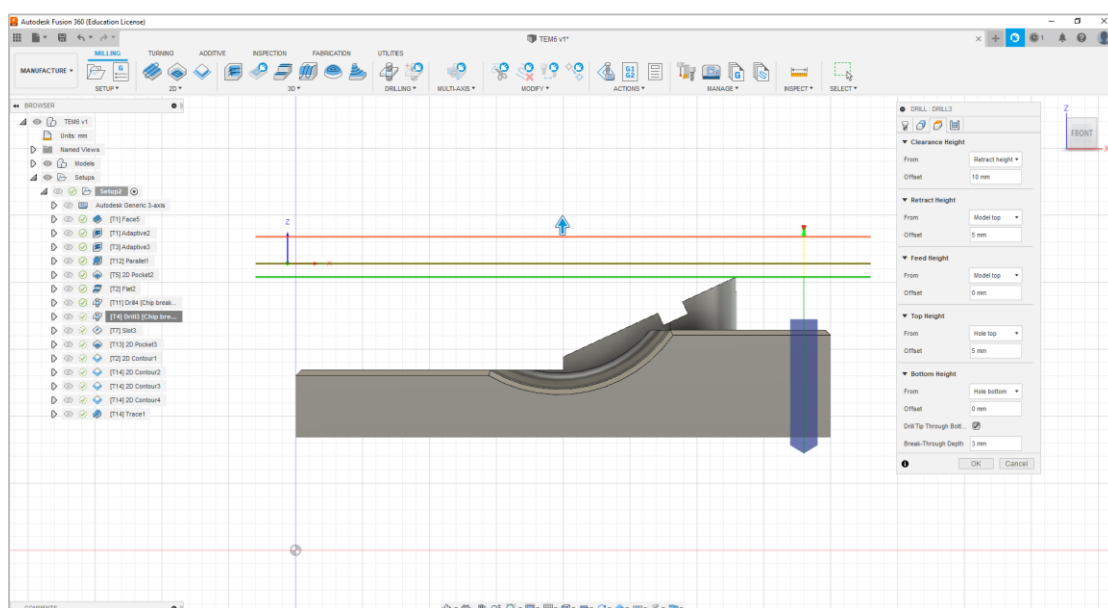
Εικόνα 3.47.2 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Drill2.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Hole Faces** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.47.3.



Εικόνα 3.47.3 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Drill2.

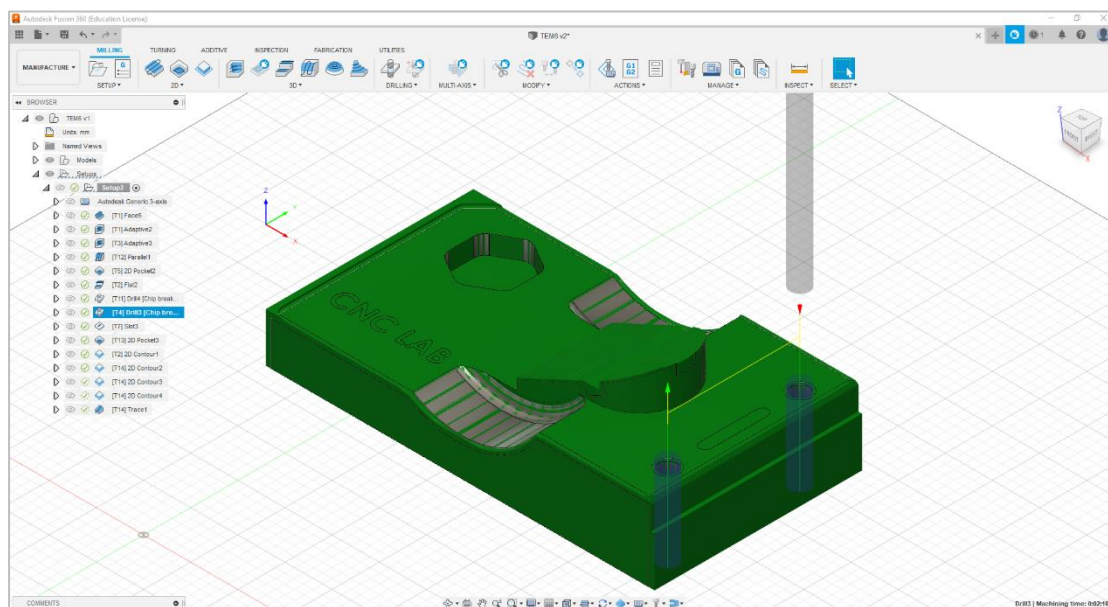
Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Feed Height** το ορίσαμε πάνω στην επιθυμητή επιφάνεια, το **Top Height** το ορίσαμε πάνω στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να ξεκινήσει να κόβει το κοπτικό εργαλείο και προσθέσαμε 1mm **Bottom Height** το ορίσαμε έτσι ώστε να γίνει μια διατρητή τρυπτά.



Εικόνα 3.47.4 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή Drill2.

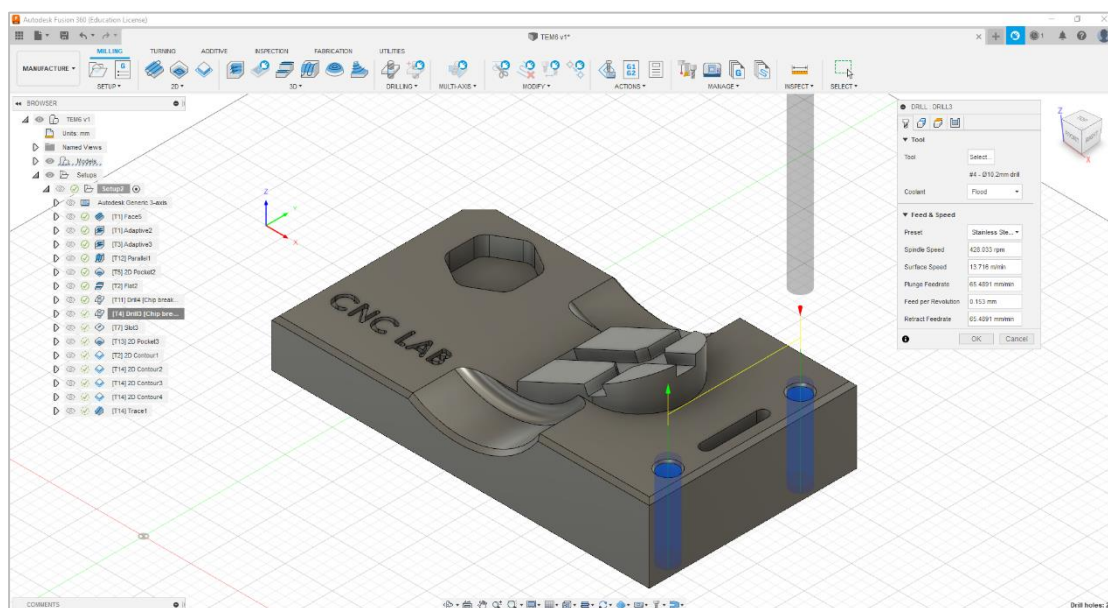
• **Drill 3**

Στην συνέχεια πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών οπών (Drilling) και επιλέξαμε σαν δέκατη κατεργασία την ίδια εντολή με πριν δηλαδή την **Drill**.



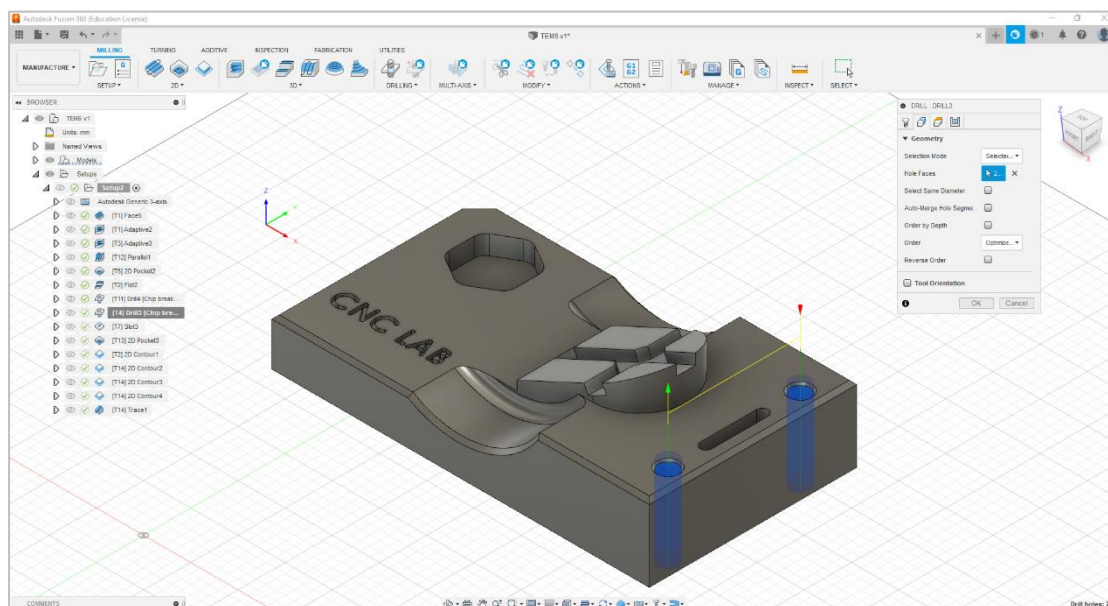
Εικόνα 3.48.1

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Center drill** με διάμετρο 10.2mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και ορίζουμε ταχύτητα κοπής 50m/min, ταχύτητα περιστροφής 1560RPM και πρόωση ανά περιστροφή 0,1mm/rev.



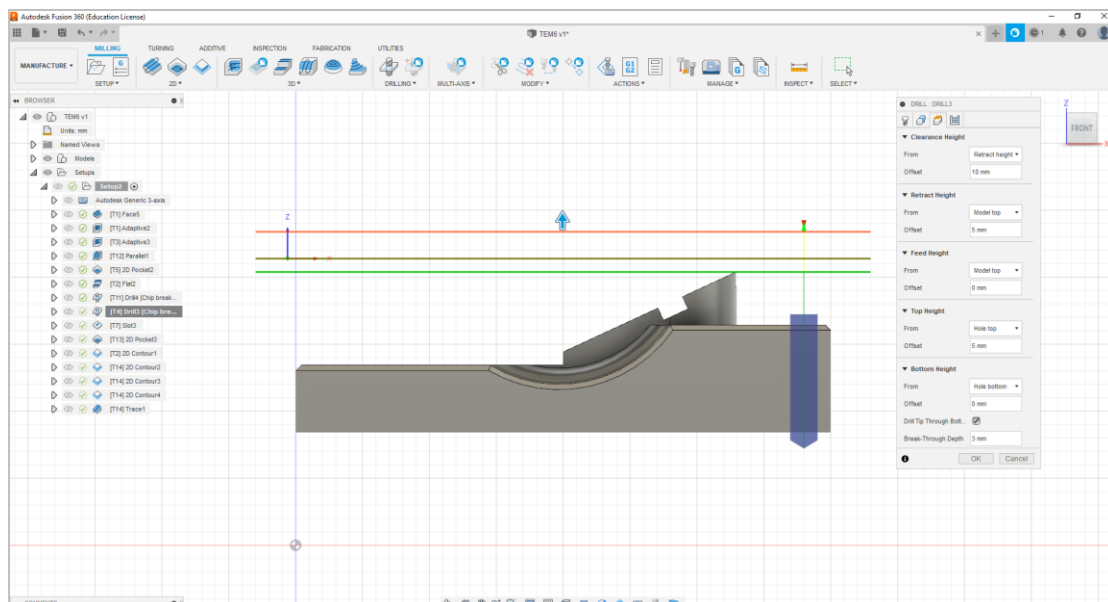
Εικόνα 3.49 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Drill2.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Hole Faces** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.50.1.



Εικόνα 3.50.1 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Drill2.

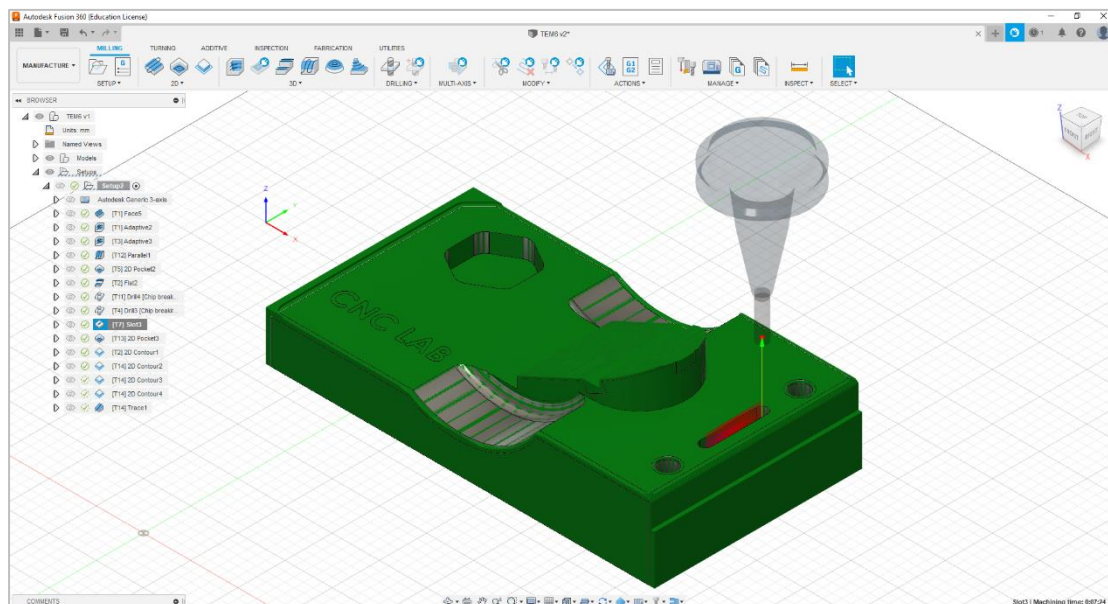
Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Feed Height** το ορίσαμε πάνω στην επιθυμητή επιφάνεια, το **Top Height** το ορίσαμε πάνω στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να ξεκινήσει να κόβει το κοπτικό εργαλείο και προσθέσαμε 1mm **Bottom Height** το ορίσαμε έτσι ώστε να γίνει μια διατρητή τρυπά.



Εικόνα 3.50.2 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή Drill2.

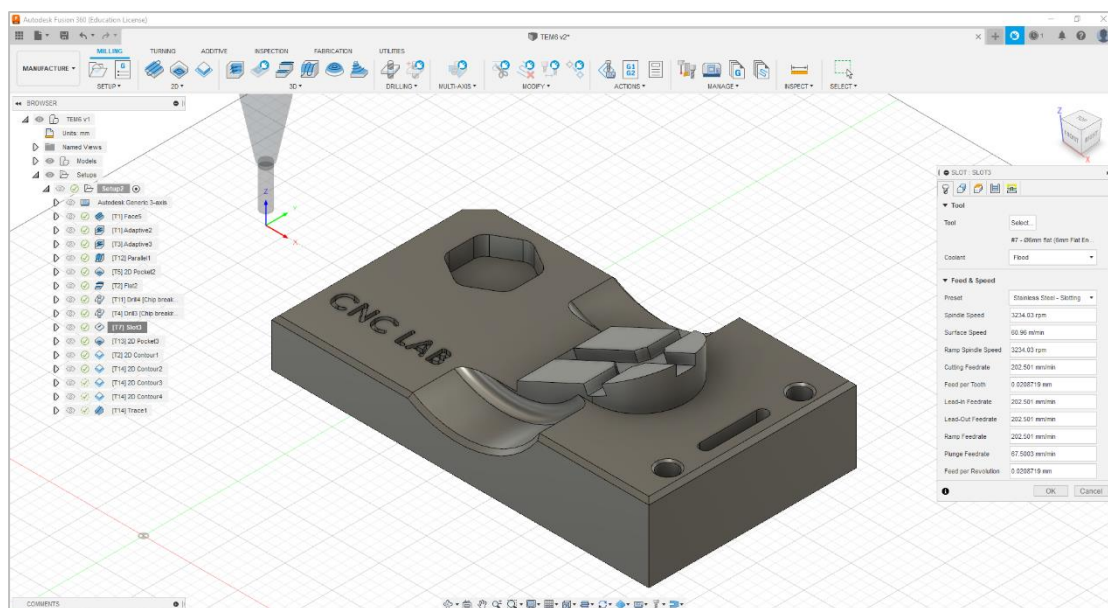
- **Slot**

Για την επιλογή της ενδέκατης κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέγουμε την εντολή **Slot** διότι δημιουργεί αυλάκωση σε επιφάνεια η οποία ορίζει την πορεία η αξονική γραμμή της αυλάκωσης κλειστού ή ανοιχτού περιγράμματος.



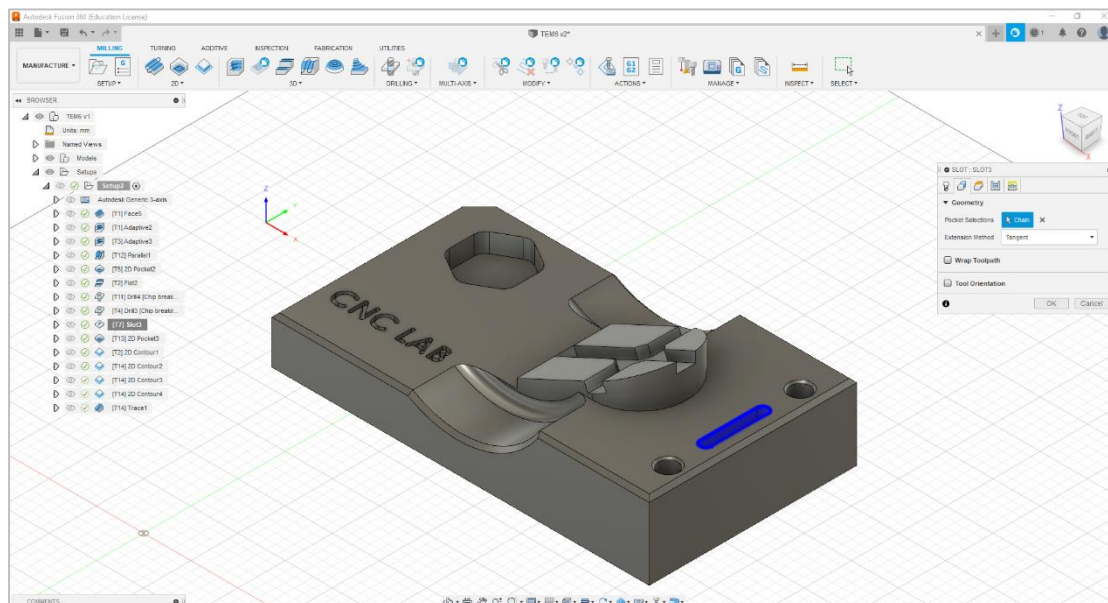
Εικόνα 3.51

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Flat end mill** με διάμετρο 6mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και επιλέξαμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 2122RPM, πρόωση ανά δόντι 0,025mm/tooth, πρόωση 212mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,1mm/rev.



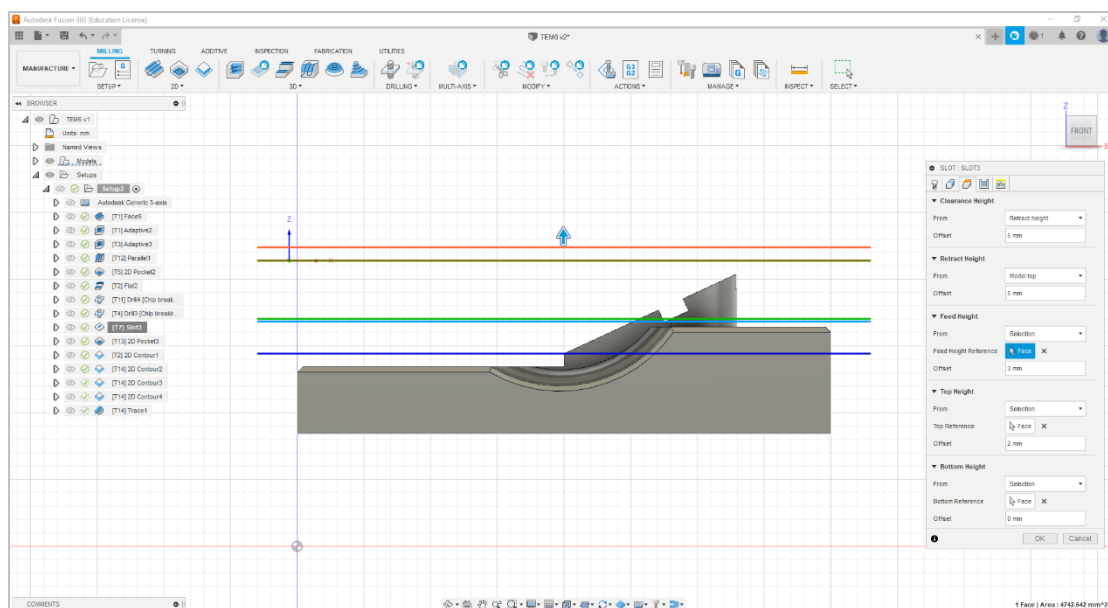
Εικόνα 3.52 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Slot.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Pocket Selections** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.53.



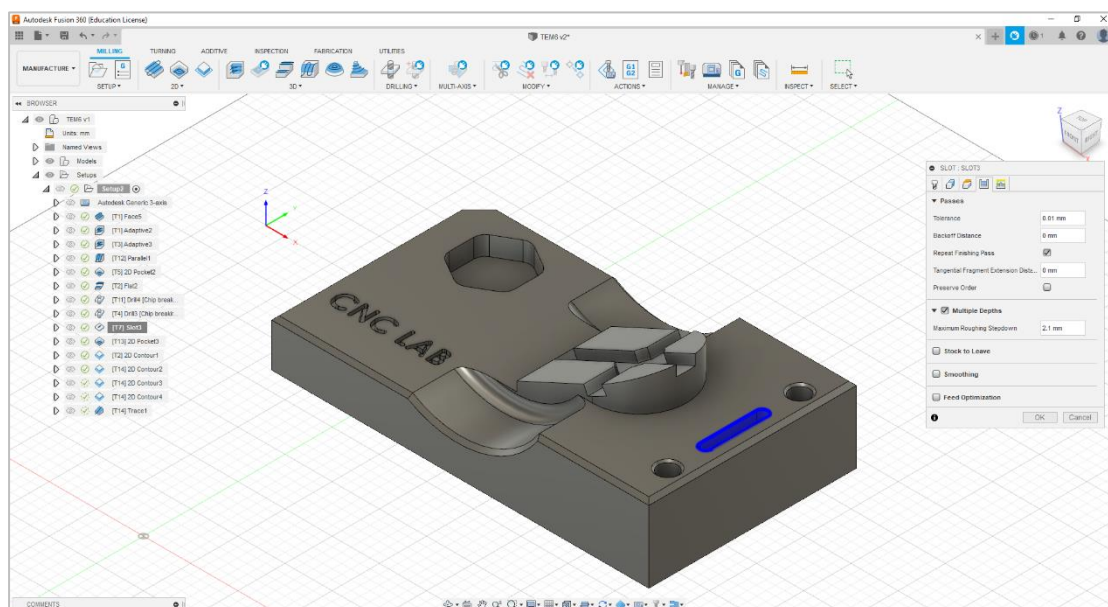
Εικόνα 3.53 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Slot.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Feed Height** το ορίσαμε πάνω στην επιθυμητή επιφάνεια, το **Top Height** το ορίσαμε πάνω στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να ξεκινήσει να κόβει το κοπτικό εργαλείο και προσθέσαμε 1mm **Bottom Height** το ορίσαμε μέχρι το σημείο που θέλουμε να φτάσει το κοπτικό.



Εικόνα 3.54 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή Slot.

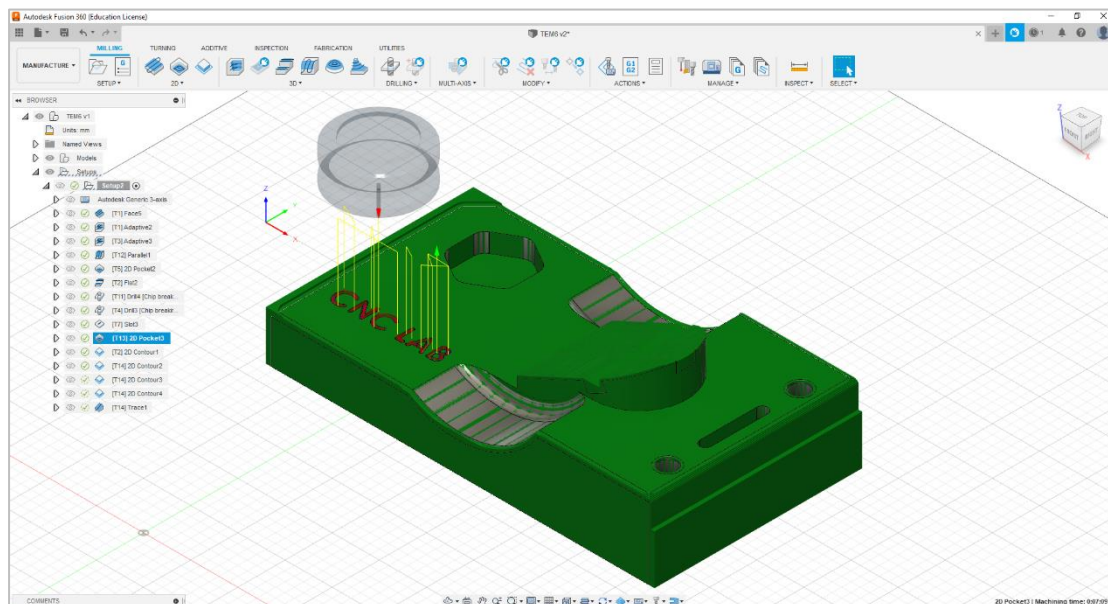
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.55 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Multiple Depths** και ορίζουμε 2.1mm **Maximum Roughing Stepdown**.



Εικόνα 3.55 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς για την εντολή Slot.

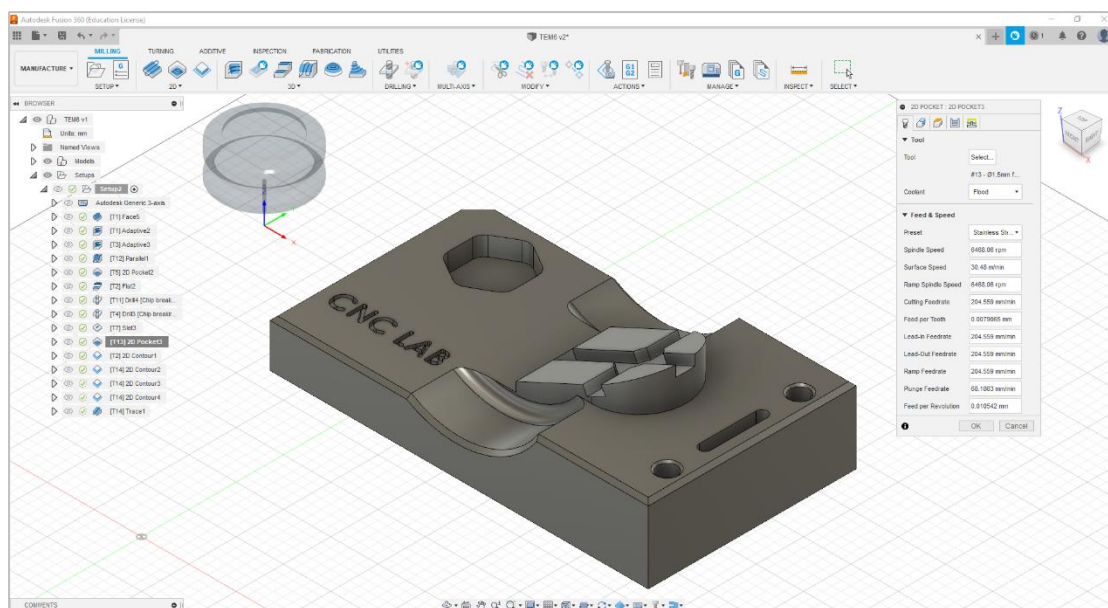
- **2D Pocket 2**

Για την επιλογή της δωδέκατης κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέγουμε την εντολή **2D Pocket** διότι δημιουργεί μια λειτουργία ξεχονδρίσματος που χρησιμοποιεί μια διαδρομή για το κοπτικό εργαλείο παράλληλη με την επιλεγμένη γεωμετρία.



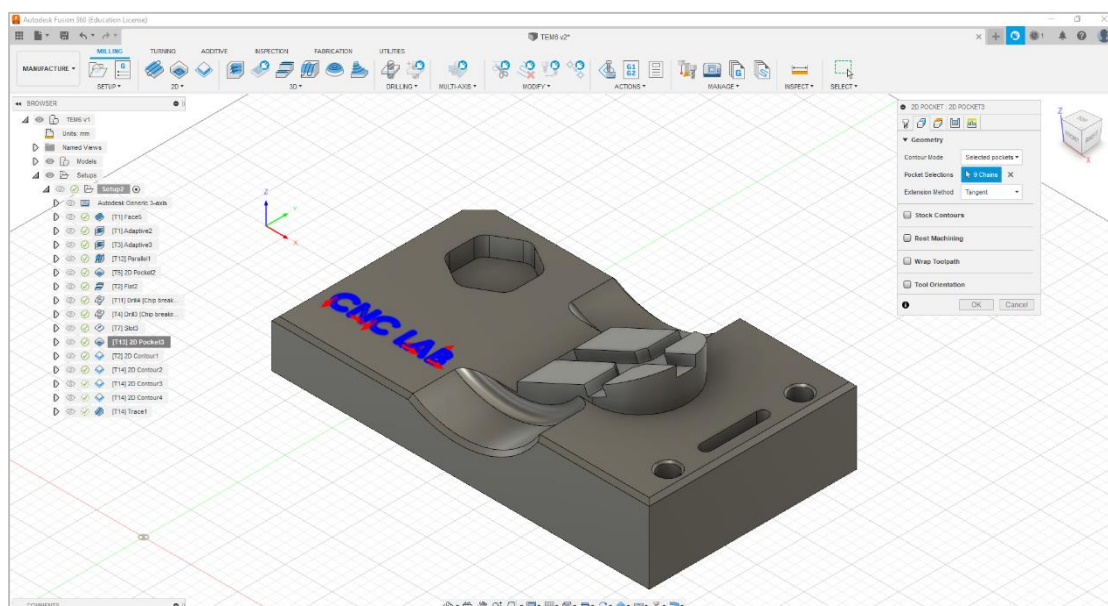
Εικόνα 3.56

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Flat end mill** με διάμετρο 1,5mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και ορίζουμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 8488RPM, πρόωση ανά δόντι 0,011mm/tooth, πρόωση 187mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,022mm/rev.



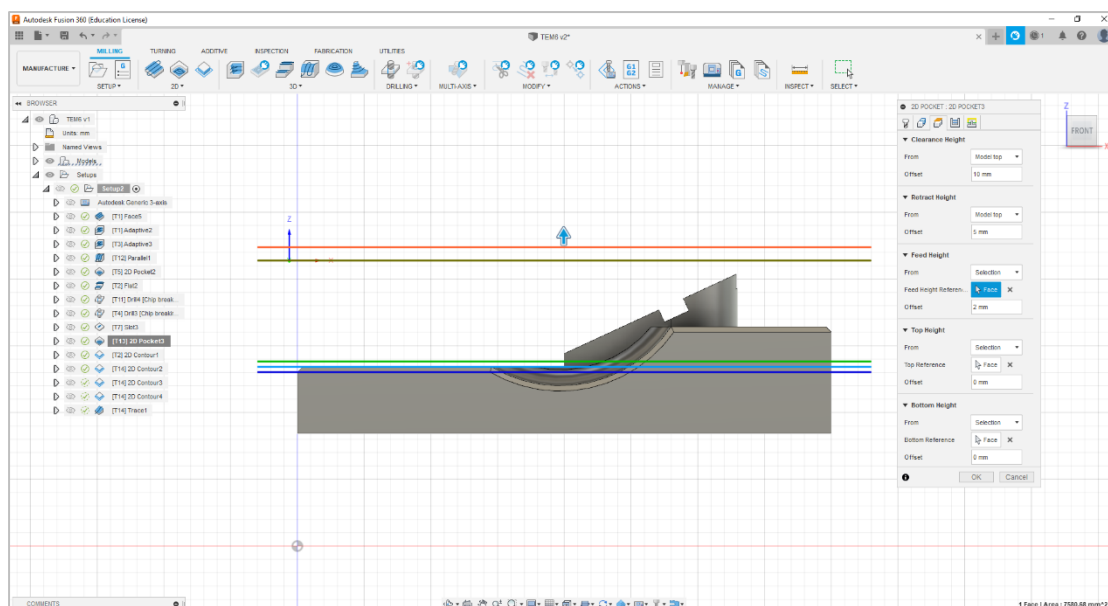
Εικόνα 3.57 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή 2D Pocket2.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Pocket Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.58.



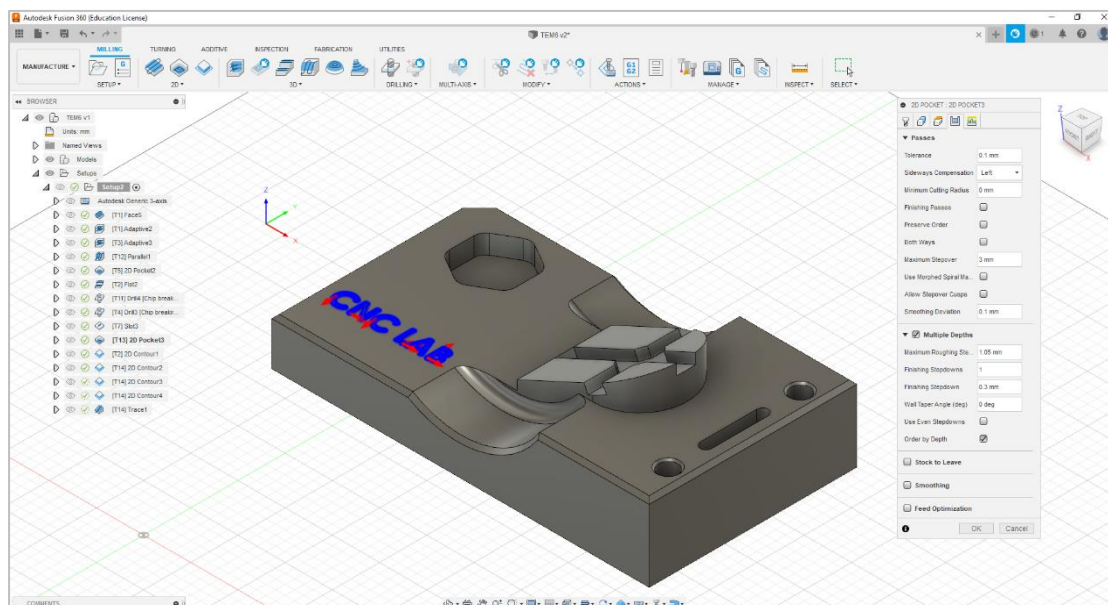
Εικόνα 3.58 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή 2D Pocket2.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Top Height** το ορίσαμε πάνω στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να ξεκινήσει να κόβει το κοπτικό εργαλείο και **Bottom Height** το ορίσαμε στην επιφάνεια στην οποία θέλουμε να είναι το κατώτατο ύψος που θα φτάσει το κοπτικό εργαλείο, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.59.



Εικόνα 3.59 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή 2D Pocket2.

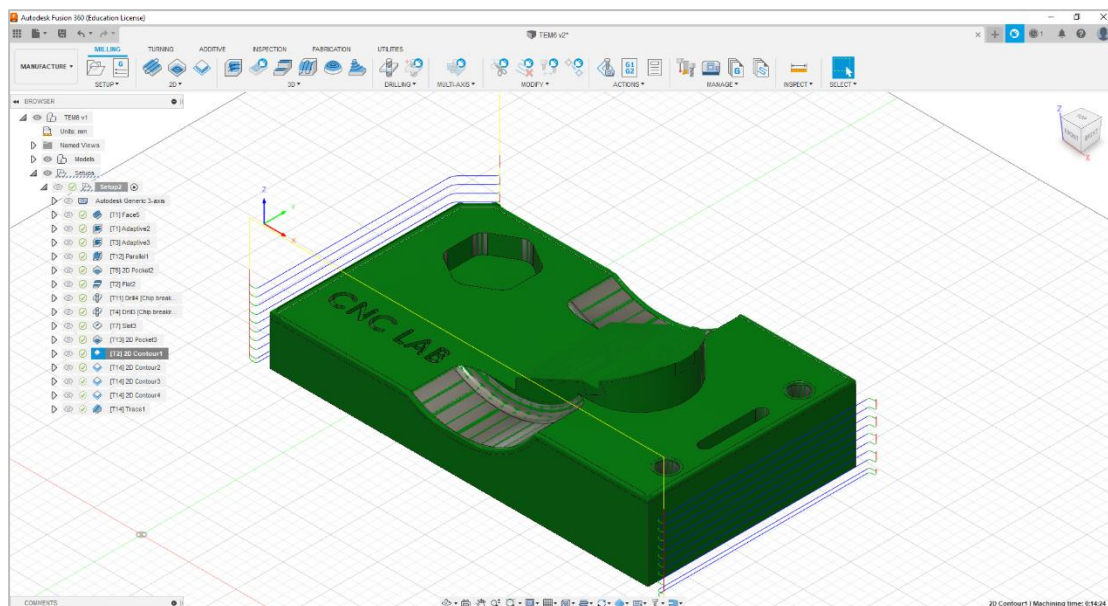
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.60 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Multiple Depths** και ορίζουμε 1,05mm **Maximum Stepdown**. Ακόμη επιλέγουμε και ένα πέρασμα φινιρίσμα τον 0,3mm στο **Finishing Stepdown**.



Εικόνα 3.60 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείας για την εντολή 2D Pocket2.

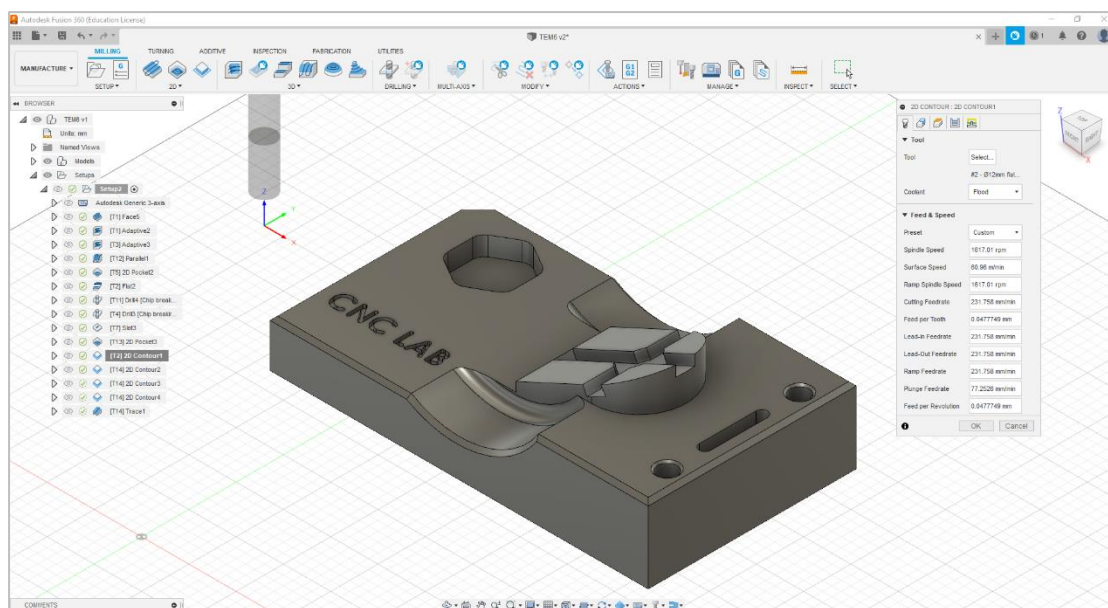
- **2D Contour1**

Για την επιλογή της δέκατης τρίτης κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέγουμε την εντολή **2D Contour** διότι δημιουργεί μια διαδρομή για το κοπτικό εργαλείο με βάση το περίγραμμα του μοντέλου.



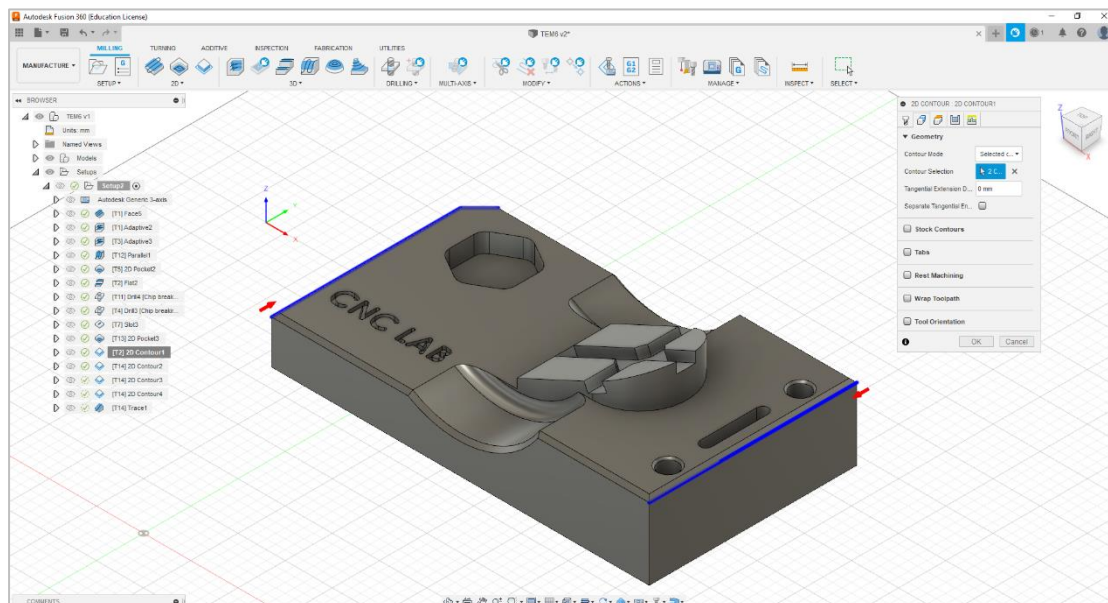
Εικόνα 3.61

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Flat end mill** με διάμετρο 12mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και επιλέξαμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 1061RPM, πρόωση ανά δόντι 0,06mm/tooth, πρόωση 255mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,24mm/rev.



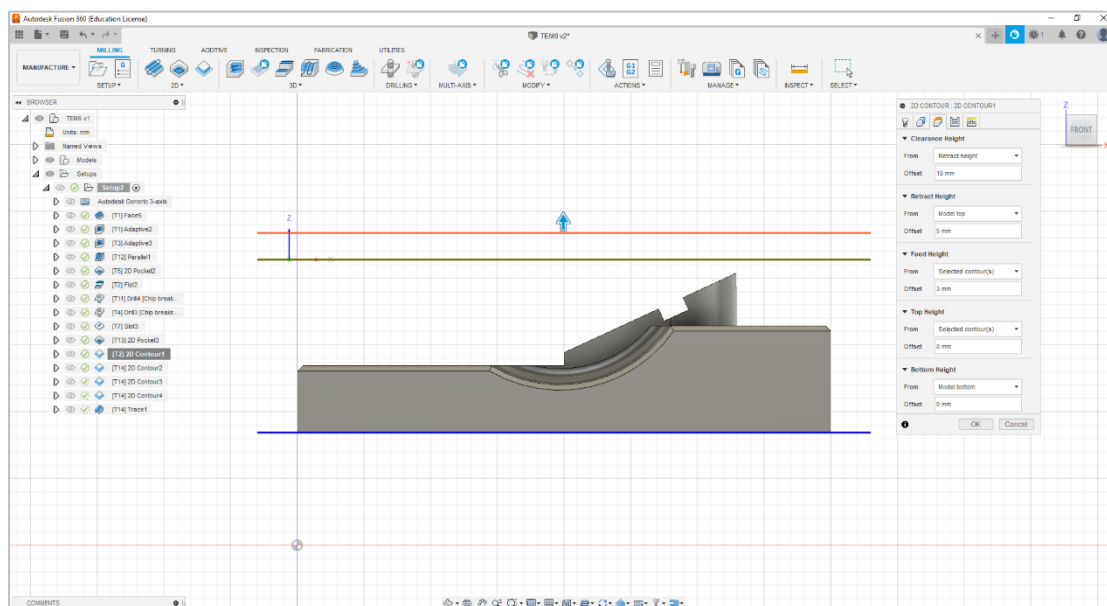
Εικόνα 3.62 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή 2D Contour.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Contour Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.63 .



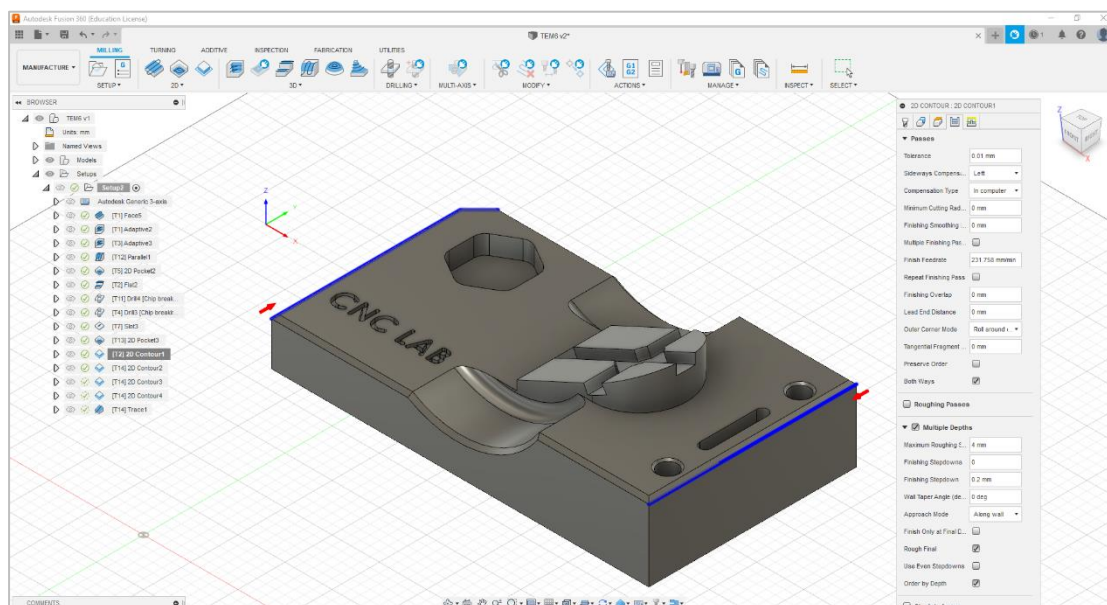
Εικόνα 3.63 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή 2D Contour.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Feed Height** στα 3mm, το **Top Height** στα 0mm και **Bottom Height** το ορίσαμε 0mm



Εικόνα 3.64 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή 2D Contour.

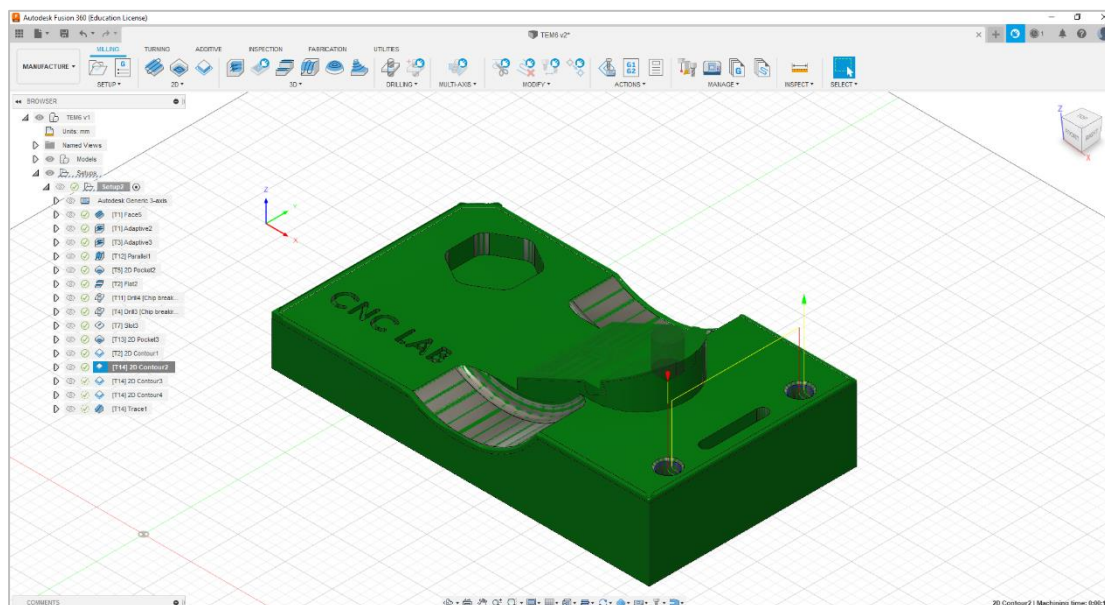
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.65 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Multiple Depths** και ορίζουμε 4mm **Maximum Roughing Stepdown**. Ακόμη επιλέγουμε και ένα πέρασμα φινιρίσμα τον 0,2mm στο **Finishing Stepdown**.



Εικόνα 3.65 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς για την εντολή 2D Contour.

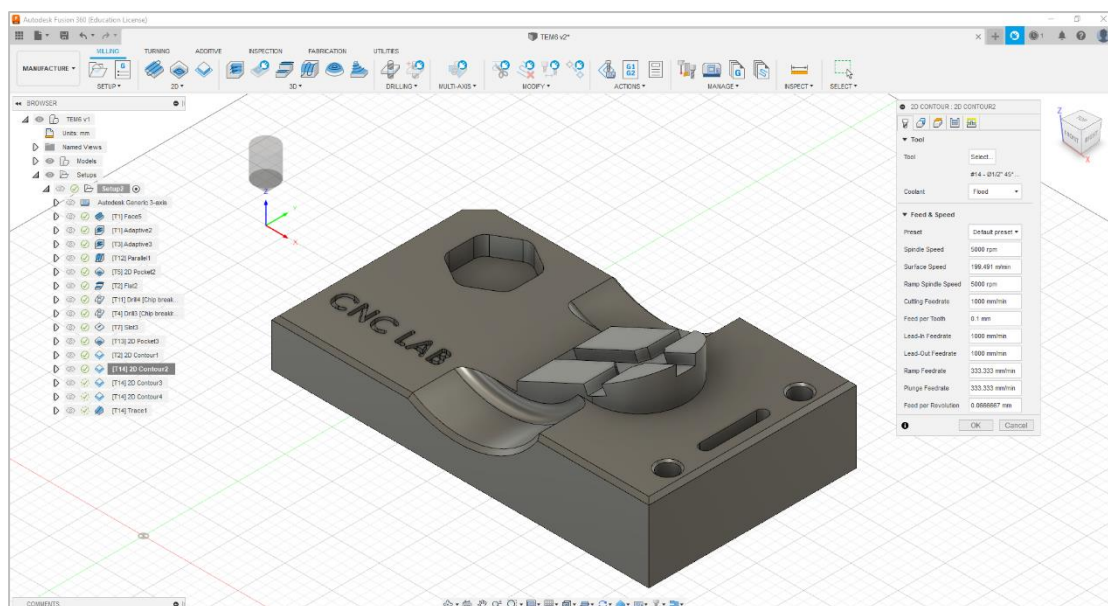
- **2D Contour2**

Στην συνέχεια πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέξαμε σαν δέκατη τέταρτη κατεργασία την ίδια εντολή με πριν δηλαδή την **2D Contour**.



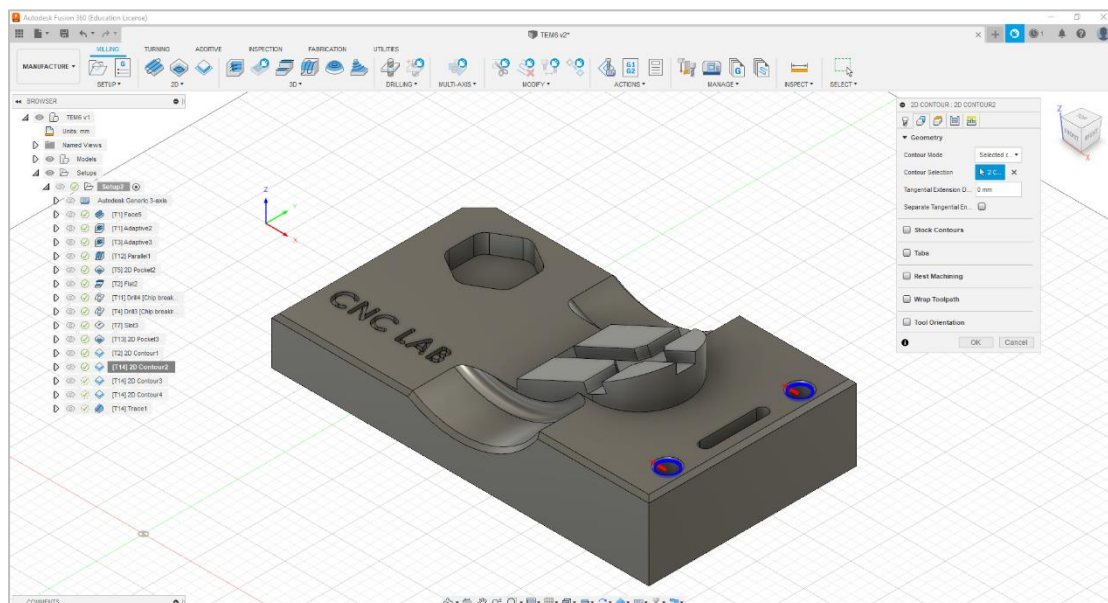
Εικόνα 3.66

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Engrave/ Chamfer mill** με διάμετρο 10mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο coolant και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε τις προκαθορισμένες ταχύτητες που έχει δώσει το πρόγραμμα για το συγκεκριμένο κοπτικό.



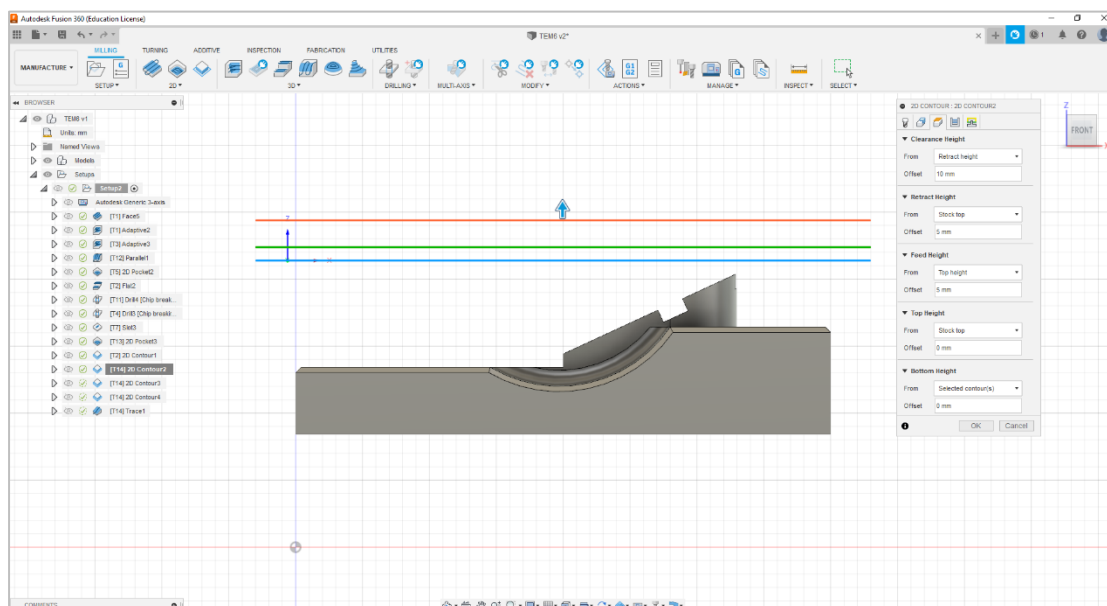
Εικόνα 3.67 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή 2D Contour2.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Contour Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.68.



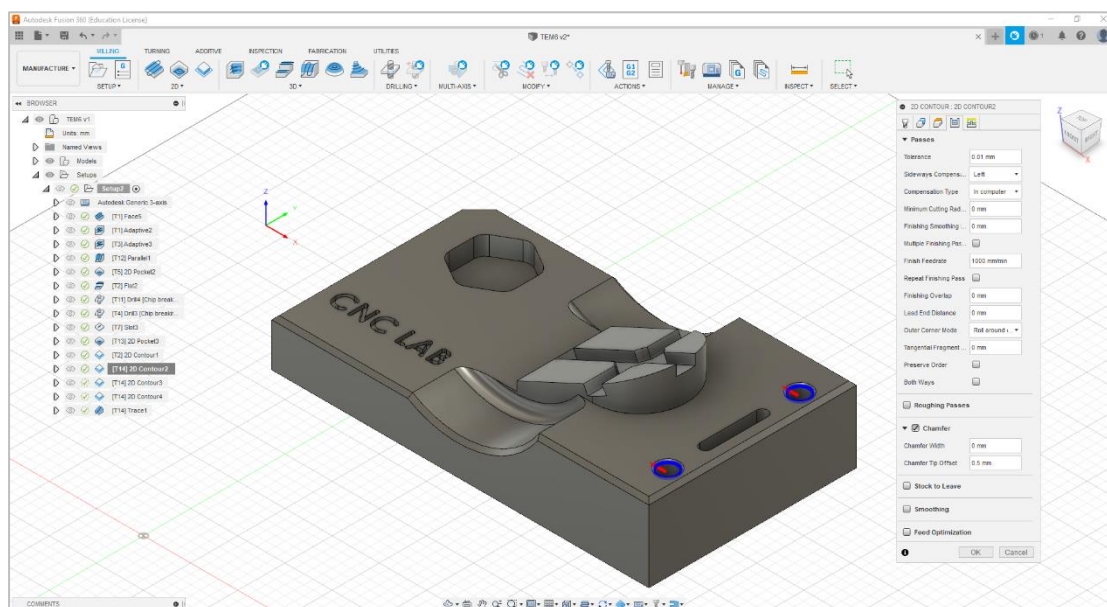
Εικόνα 3.68 : Επιλογή γεωμετρίας την εντολή 2D Contour2.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Feed Height** στα 5mm, το **Top Height** στα 0mm και **Bottom Height** το ορίσαμε 0mm, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.69.



Εικόνα 5.69 : Ορισμός επιπέδων την εντολή 2D Contour2.

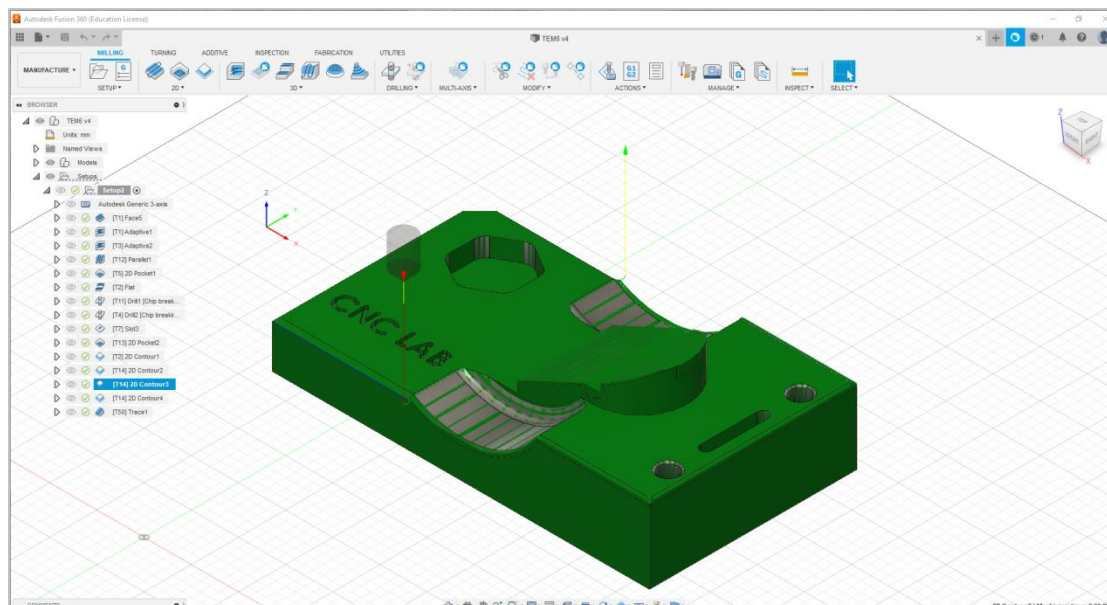
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.70 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Chamfer** και ορίζουμε 0mm **Chamfer Width**. Ακόμη επιλέγουμε και 0,5mm στο **Chamfer Tip Offset**.



Εικόνα 3.70 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς την εντολή 2D Contour2.

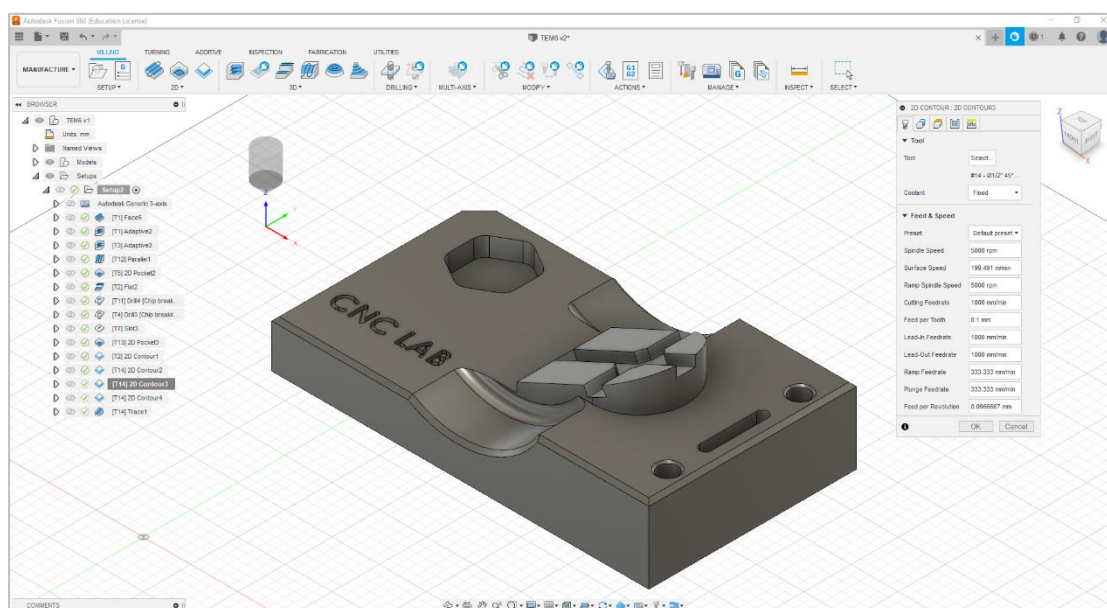
- **2D Contour3**

Στην συνέχεια πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέξαμε σαν δέκατη πέμπτη κατεργασία την ίδια εντολή με πριν δηλαδή την **2D Contour**.



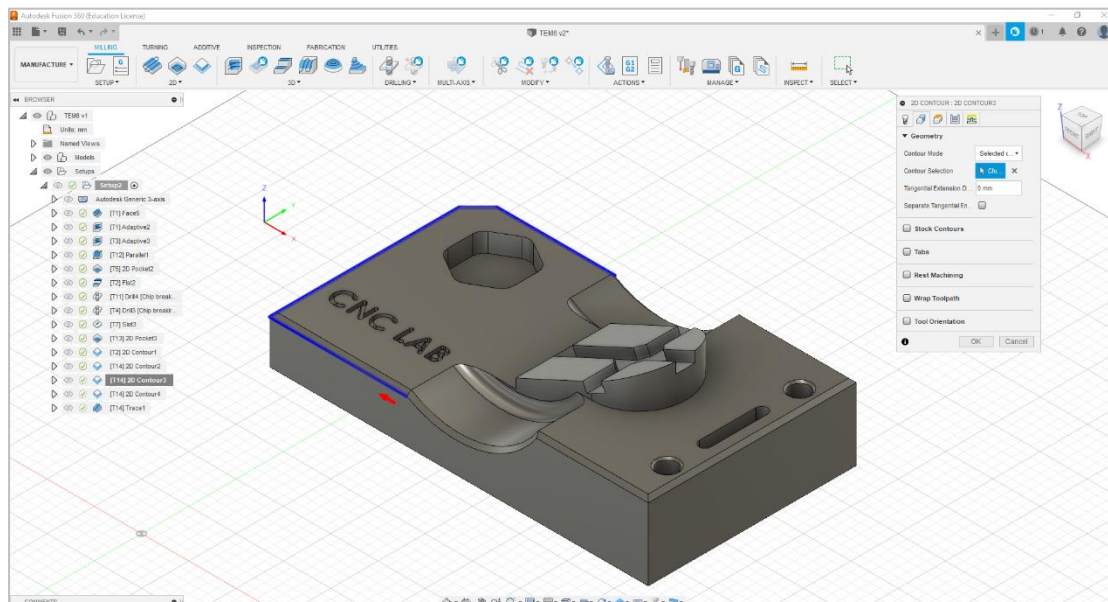
Εικόνα 3.71

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Engrave/ Chamfer mill** με διάμετρο 10mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσω στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** ορίζουμε τις προκαθορισμένες ταχύτητες που έχει δώσει το πρόγραμμα για το συγκεκριμένο κοπτικό.



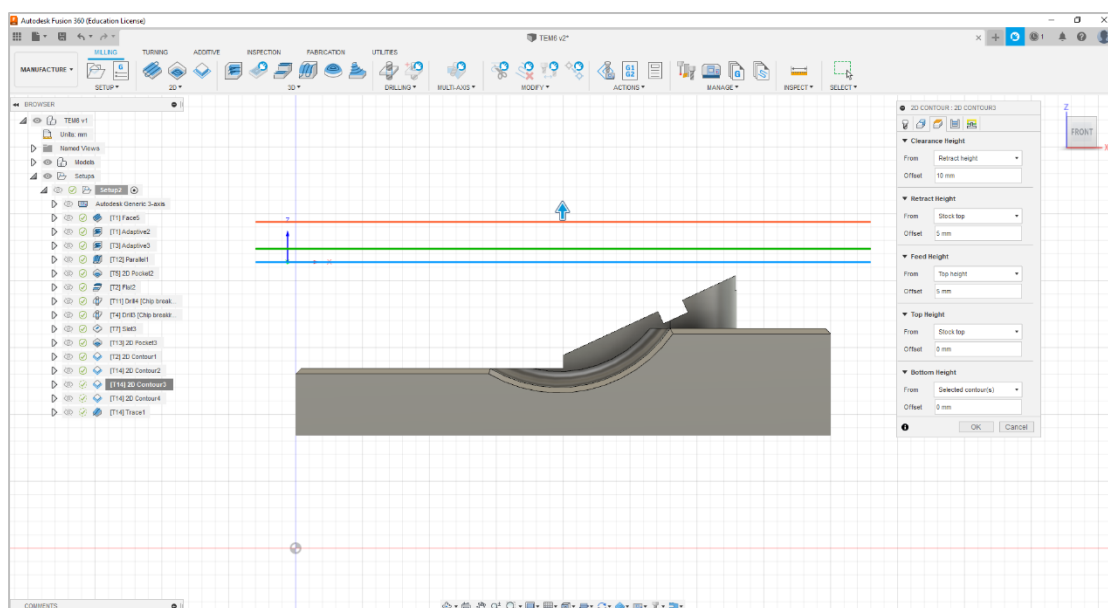
Εικόνα 3.72 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή 2D Contour3.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Contour Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.73 .



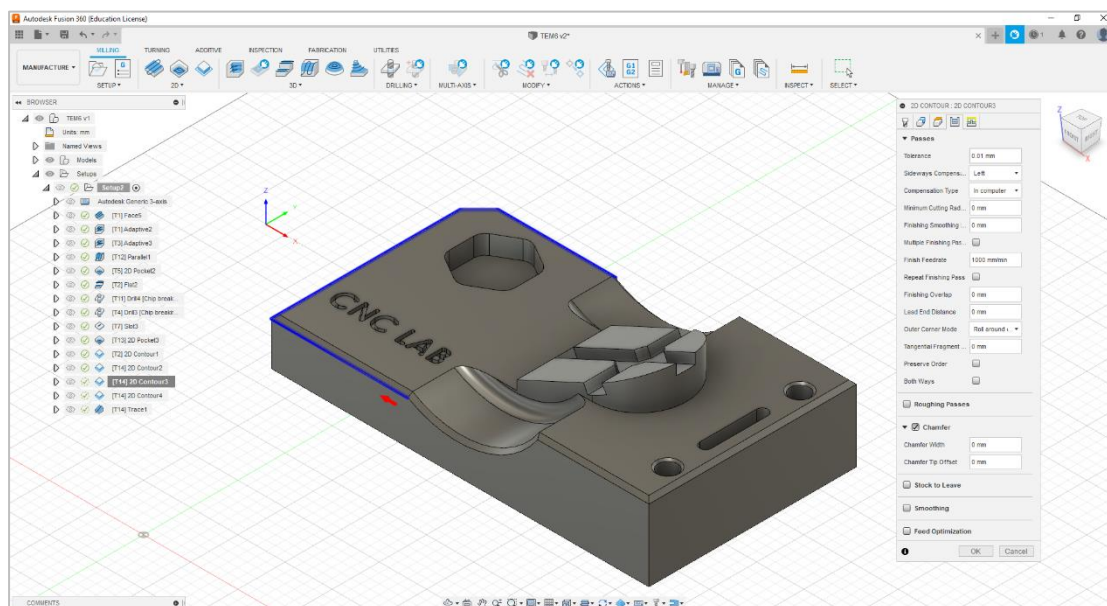
Εικόνα 3.73 : Επιλογή γεωμετρίας την εντολή 2D Contour3.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Feed Height** στα 5mm, το **Top Height** στα 0mm και **Bottom Height** το ορίσαμε 0mm, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.74.



Εικόνα 3.74 : Ορισμός επιπέδων την εντολή 2D Contour3.

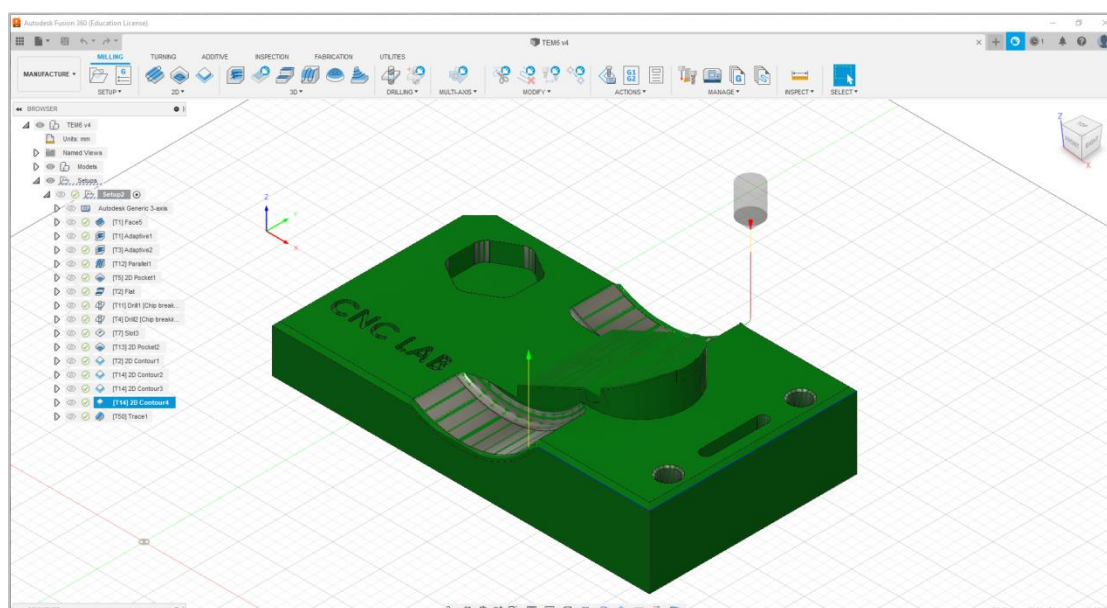
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.75 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Chamfer** και ορίζουμε 0mm **Chamfer Width**. Ακόμη επιλέγουμε και 0,5mm στο **Chamfer Tip Offset**.



Εικόνα 3.75 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς την εντολή 2D Contour3.

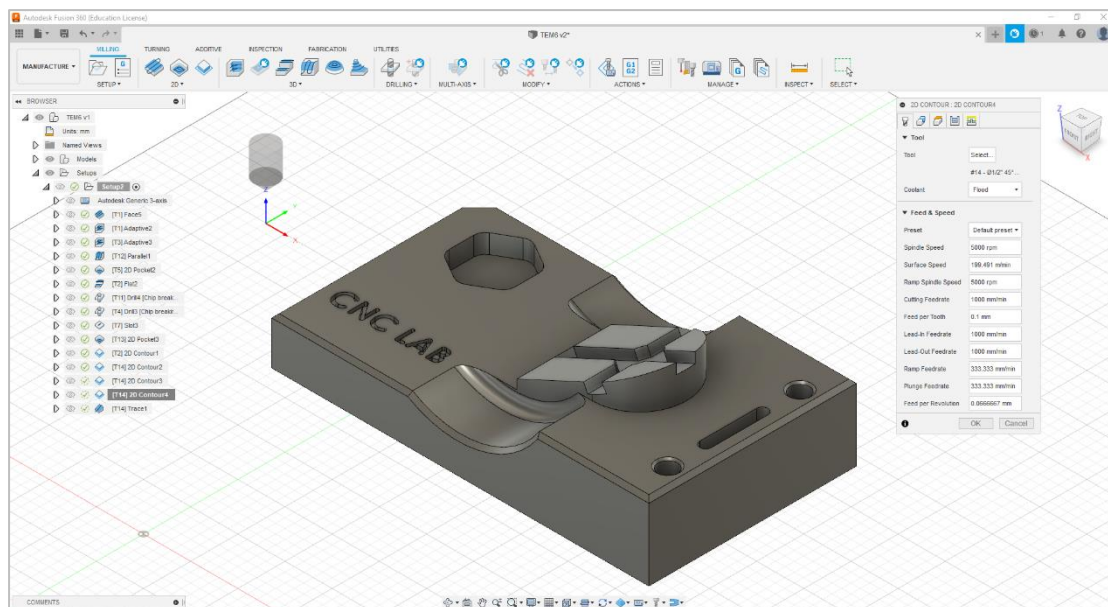
- **2D Contour4**

Στην συνέχεια πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέξαμε σαν δέκατη έκτη κατεργασία την ίδια εντολή με πριν δηλαδή την **2D Contour**.



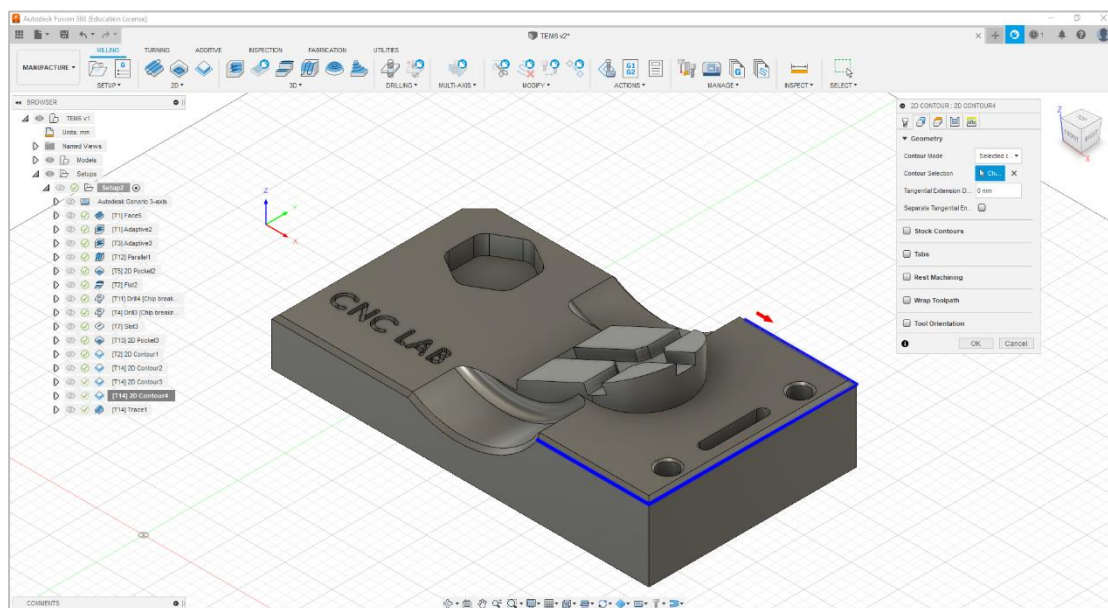
Εικόνα 3.76

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Engrave/ Chamfer mill** με διάμετρο 10mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε τις προκαθορισμένες ταχύτητες που έχει δώσει το πρόγραμμα για το συγκεκριμένο κοπτικό.



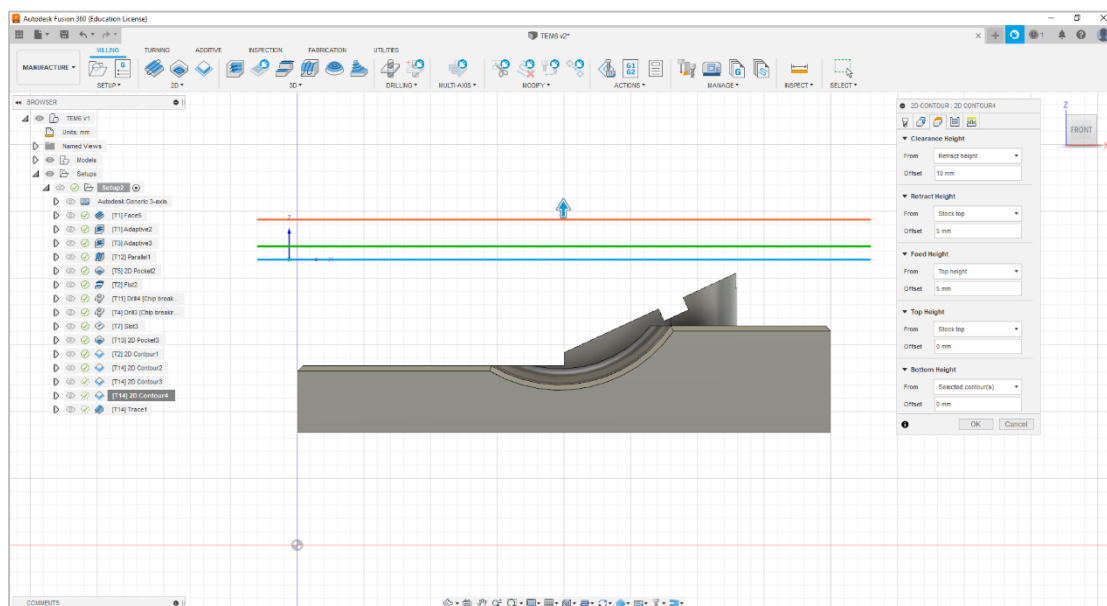
Εικόνα 3.77 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή 2D Contour4.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Pocket Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.78.



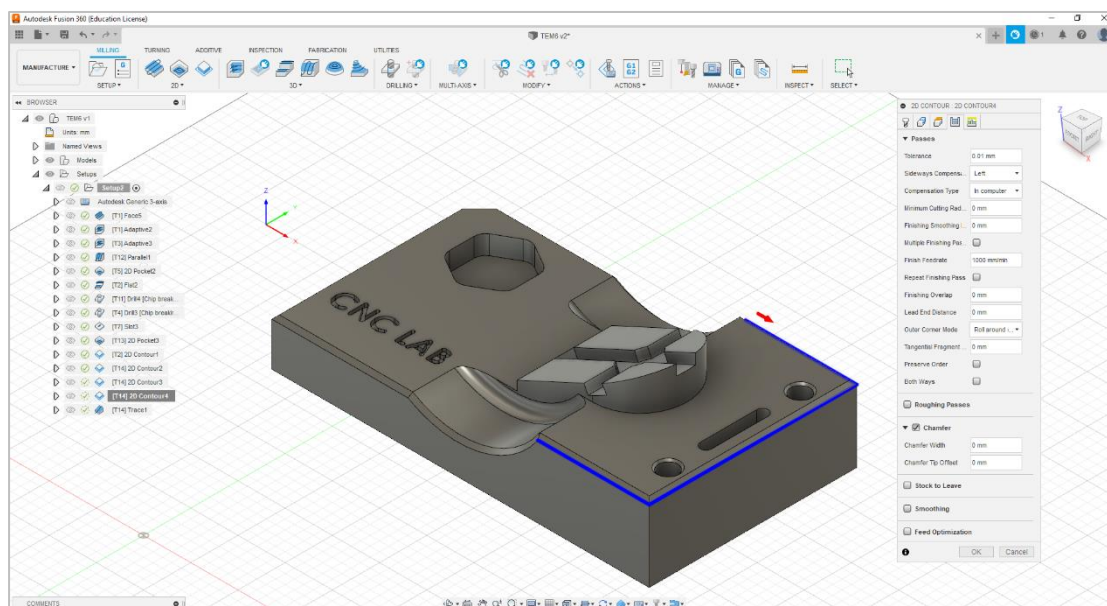
Εικόνα 3.78 : Επιλογή γεωμετρίας την εντολή 2D Contour4.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **feed Height** στα 5mm, το **Top Height** στα 0mm και **Bottom Height** το ορίσαμε 0mm, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.79.



Εικόνα 3.79 : Ορισμός επιπέδων την εντολή 2D Contour4.

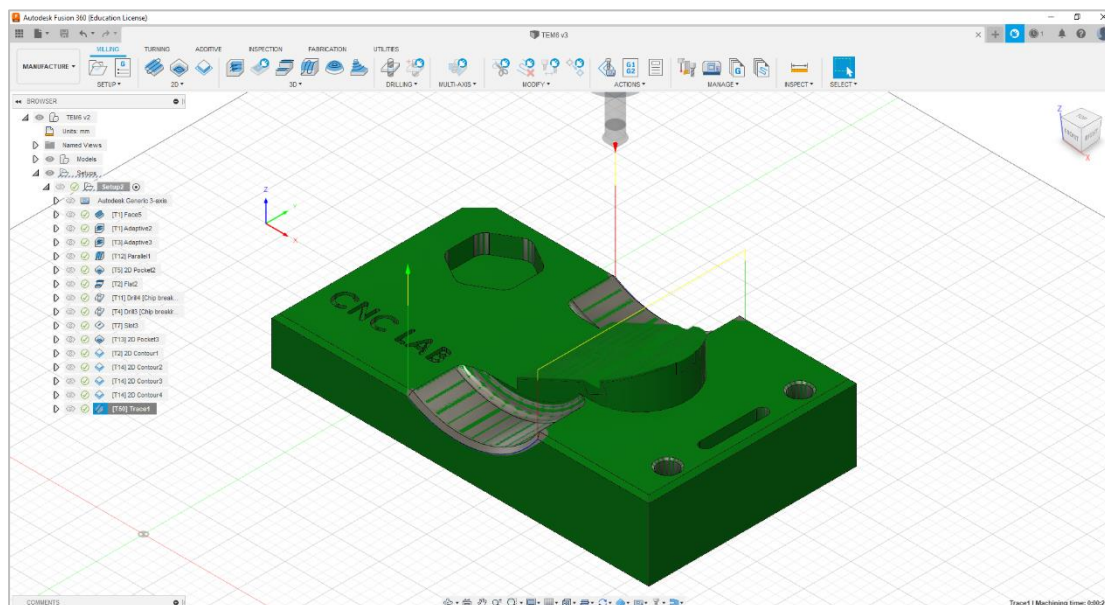
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.80 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Chamfer** και ορίζουμε 0mm **Chamfer Width**. Ακόμη επιλέγουμε και 0mm στο **Chamfer Tip Offset**.



Εικόνα 3.80 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς την εντολή 2D Contour4.

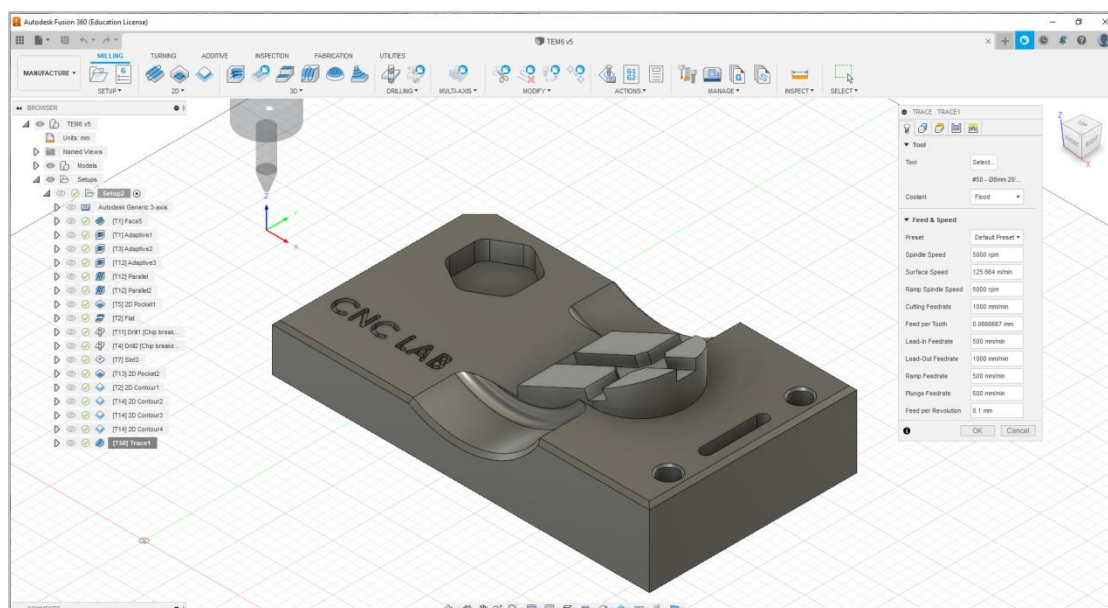
- **Trace**

Για την επιλογή της δέκατης έβδομης και τελευταίας κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέγουμε την εντολή **Trace** διότι δημιουργεί μια διαδρομή για το κοπτικό εργαλείο κατά μήκος περιγραμμάτων με μεταβαλλόμενες τιμές στο Z άξονα.



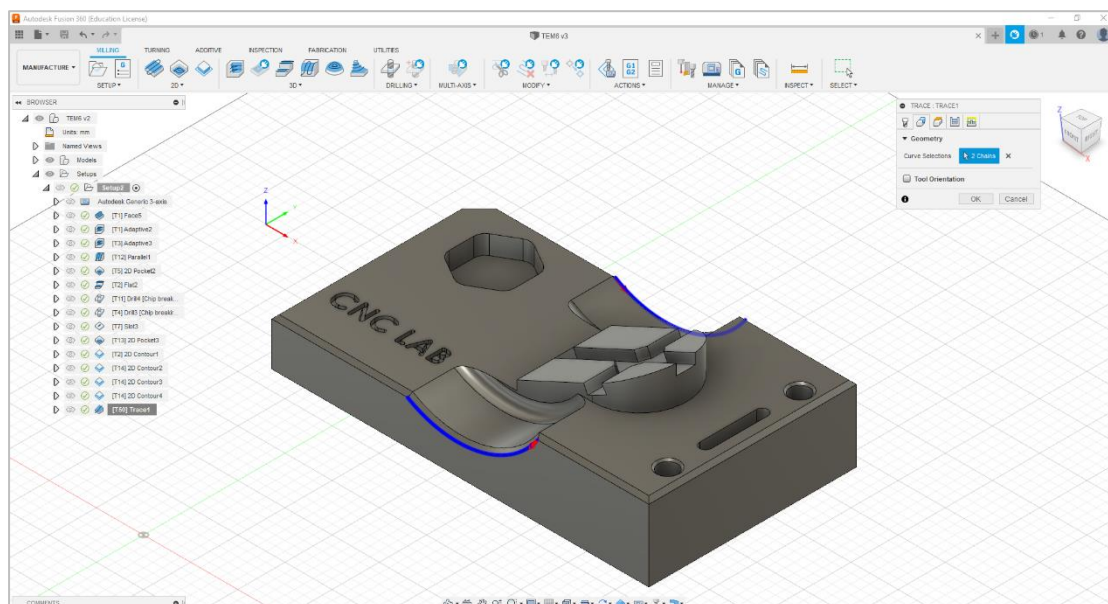
Εικόνα 3.81

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Engrave/ Chamfer mill** με διάμετρο 10mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και επιλέξαμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 1273RPM, πρόωση ανά δόντι 0,04mm/tooth, πρόωση 102mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,08mm/rev.



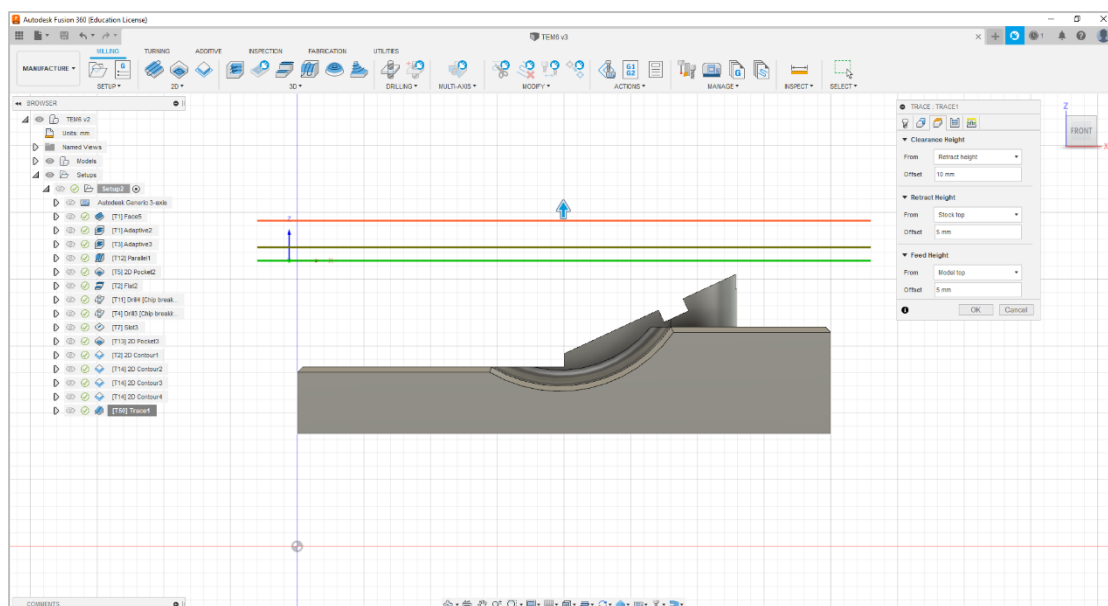
Εικόνα 3.82 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Trace.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Curve Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.83.



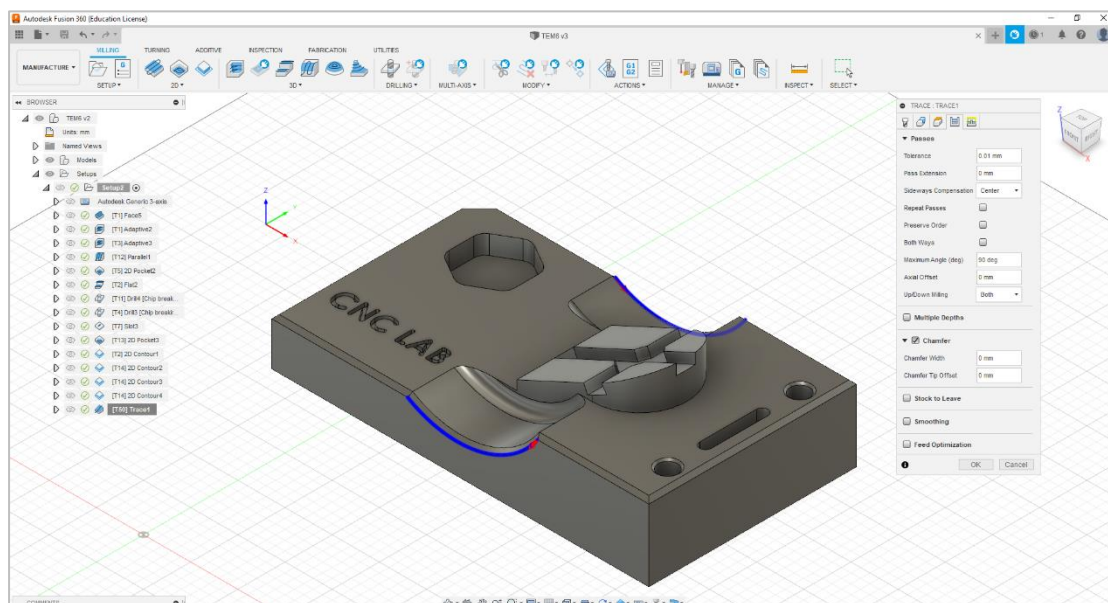
Εικόνα 3.83 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Trace.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm και ορίσαμε το **Feed Height** στα 5mm, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.84.



Εικόνα 3.84 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή Trace.

Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.85 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Chamfer** και ορίζουμε 0mm **Chamfer Width**. Ακόμη επιλέγουμε και 0mm στο **Chamfer Tip Offset**.



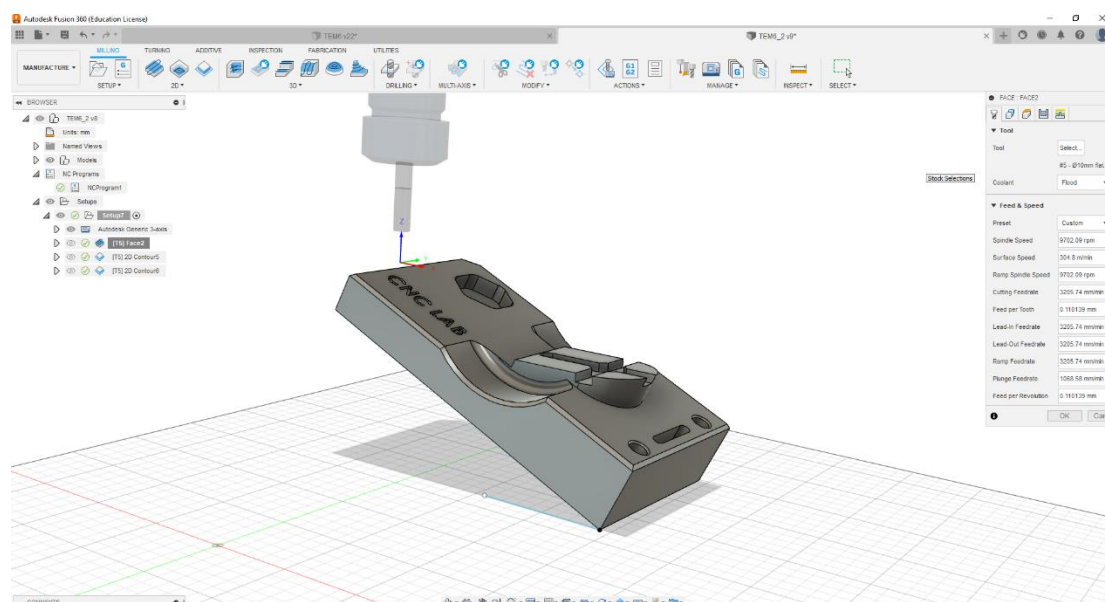
Εικόνα 3.85 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς για την εντολή Trace.

3.2.2. 2^η Φάση Κατεργασιών

- **Face**

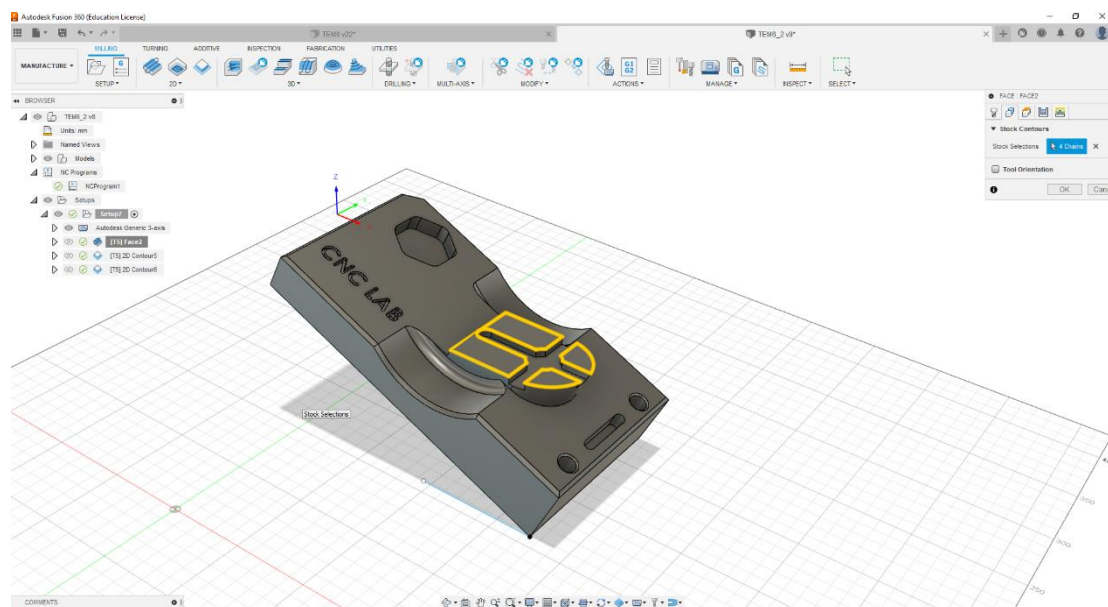
Ξεκινώντας την κατεργασία του τεμαχίου στη δεύτερη φάση κατεργασιών ακολουθούμε μια προκαθορισμένη σειρά, αρχίζουμε με την πρόσδεση του τεμαχίου στην κεκλιμένη μέγγενη στην κλίση όπου χρειάζεται, 24,8° στην προκειμένη περίπτωση, έτσι ώστε τα υπό κλίση τμήματα να γίνουν παράλληλα με την κινητή τράπεζα. Αφού ολοκληρωθεί η πρόσδεση και ο μηδενισμός της μηχανής η πρώτη κατεργασία είναι ο καθαρισμός του προσώπου του τεμαχίου δηλαδή αφαιρούμε μερικά χιλιοστά από το πάνω μέρος του προπλάσματος ώστε να φτάσουμε στο προφίλ του αντικειμένου μας. Στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέγουμε την εντολή **Face** όπου το πρόγραμμα μας βγάζει στο μενού. Αρχικά θα ορίσουμε το κοπτικό εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουμε, στην συνέχεια το ψυκτικό μέσο που θα χρησιμοποιήσουμε και τέλος τις ταχύτητες που θα έχει το κοπτικό μας εργαλείο σε αυτή την κατεργασία.

Το κοπτικό εργαλείο το επιλέγουμε στο **tool** όπου μας εμφανίζει μια καρτέλα που μπορούμε να επιλέξουμε κοπτικά εργαλεία. Όπως προαναφέραμε μας δίνεται μια μεγάλη γκάμα κοπτικών εργαλείων από την βιβλιοθήκη του Fusion360, για την συγκεκριμένη κατεργασία επιλέξαμε ένα κοπτικό **Flat end mill** με διάμετρο 10mm. Για να ορισμού ψυκτικό μέσο πηγαίνουμε στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood** το οποίο αναφέρεται στην ροή του ψυκτικού υγρού με σωληνάκι.



Εικόνα 3.2.2.1 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή Face.

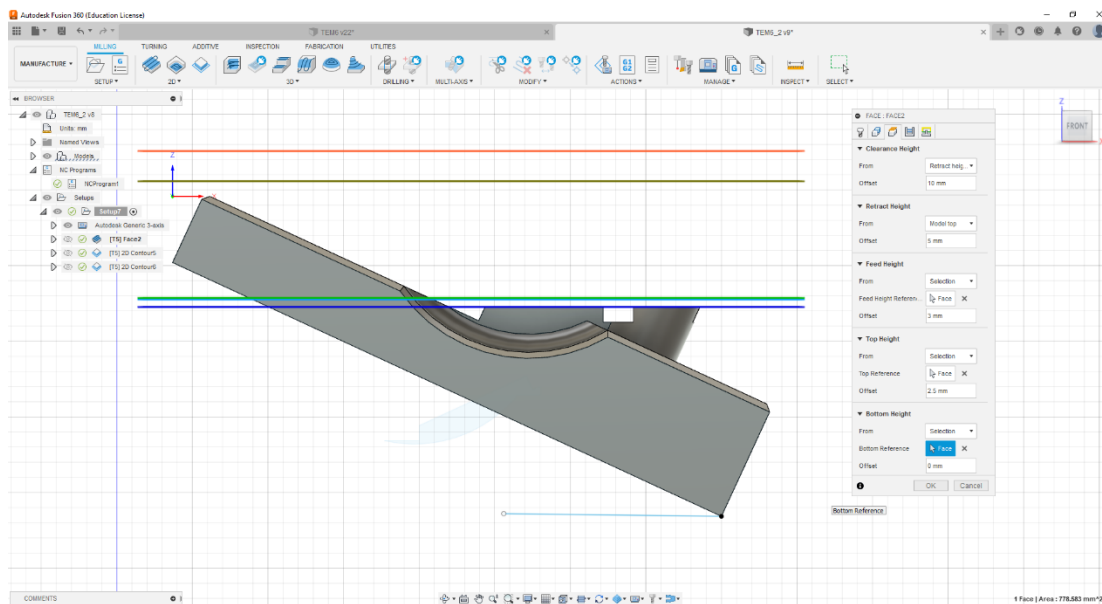
Για τις ταχύτητες θα επιλέξουμε στην ενότητα **Feed & Speed** το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές του κοπτικού εργαλείου μας ώστε να μην έχουμε καμία αστοχία. Επιλέξαμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 1273 RPM, πρόωση ανά δόντι 0,04 mm/tooth, πρόωση 204mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,16 mm/rev.



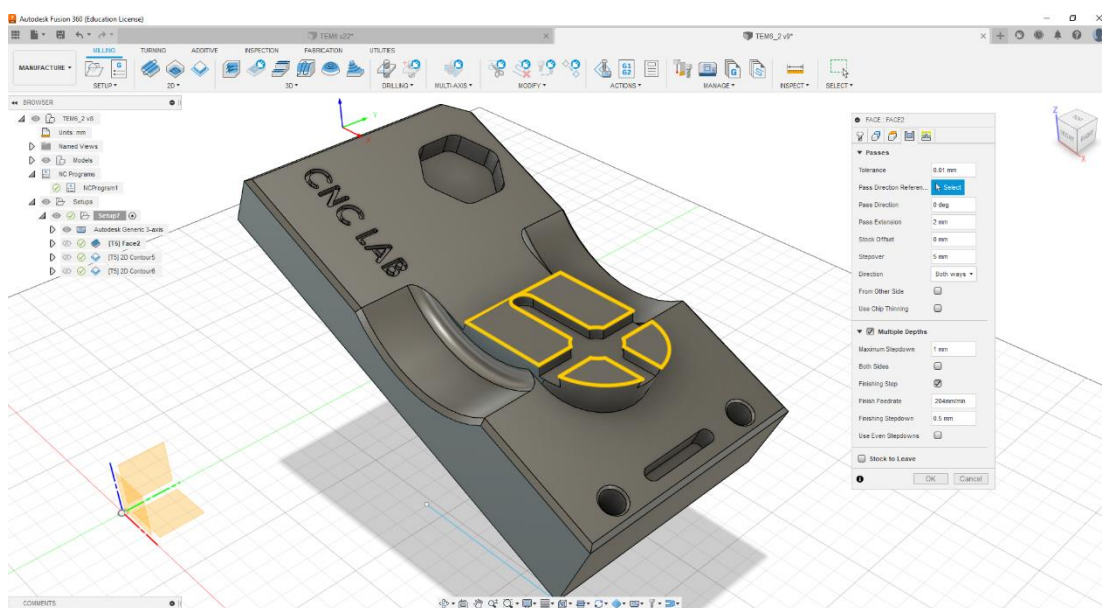
Εικόνα 3.2.2.2 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή Face.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Stock Selection** μπορούμε να ορίσουμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.2.2.2.

Στην καρτέλα **Height** ορίζουμε διάφορα επίπεδα ώστε να αποτρέψουμε τυχόν συγκρούσεις του κοπτικού εργαλείου με το κομμάτι. Τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm και τα **Feed Height** στα 3mm, το **Top Height** με την επιλεγμένη επιφάνεια στα 2,5mm και **Bottom Height** με την επιλεγμένη επιφάνεια στα 0mm, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2.2.3.

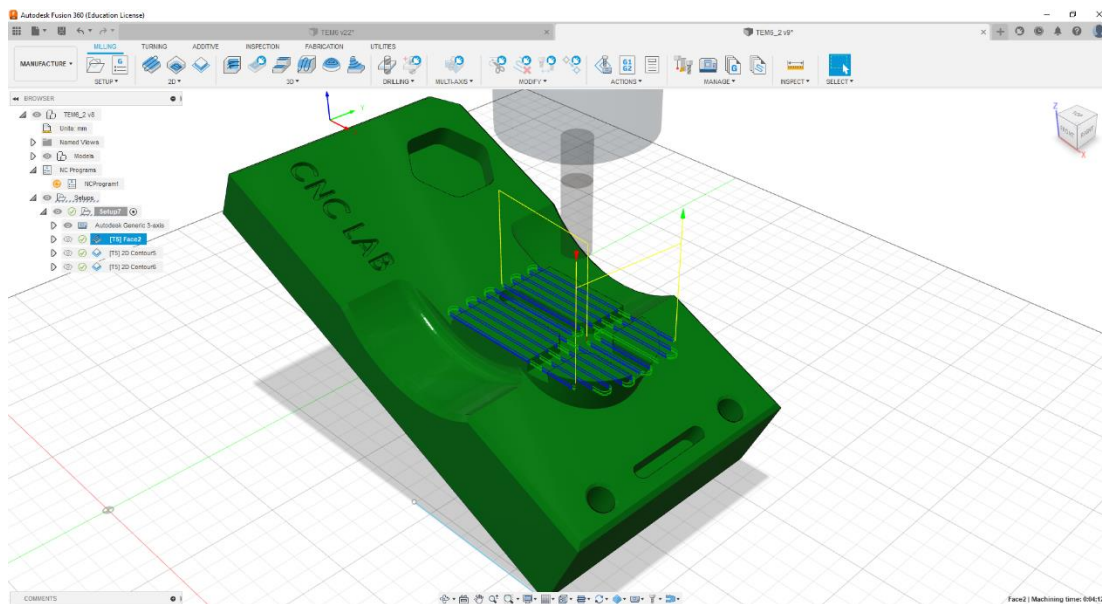


Εικόνα 3.2.2.3: Ορισμός επιπέδων για την εντολή Face.



Εικόνα 3.2.2.4 : Επιλογή πορείας και βάθους για την εντολή face.

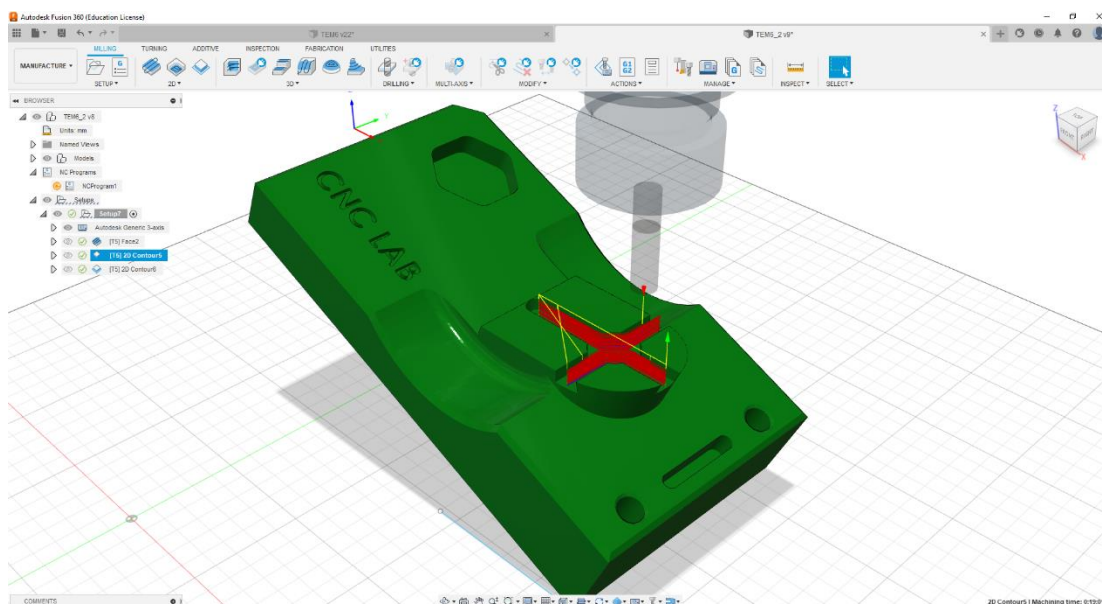
Και τέλος στη καρτέλα **Passes** ορίζουμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, το βάθος το οποίο θα κόβει το κοπτικό μας και τα περάσματα που θα κάνει. Ακόμα μπορούμε να ορίσουμε εάν επιθυμούμε το κοπτικούς να κάνει φινιρίσμα. Στην συγκεκριμένη κατεργασία επιλέξαμε το **Multiple Depths** και ορίζουμε 1mm **Maximum Stepdown** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.2.2.5

- **2D Contour1**

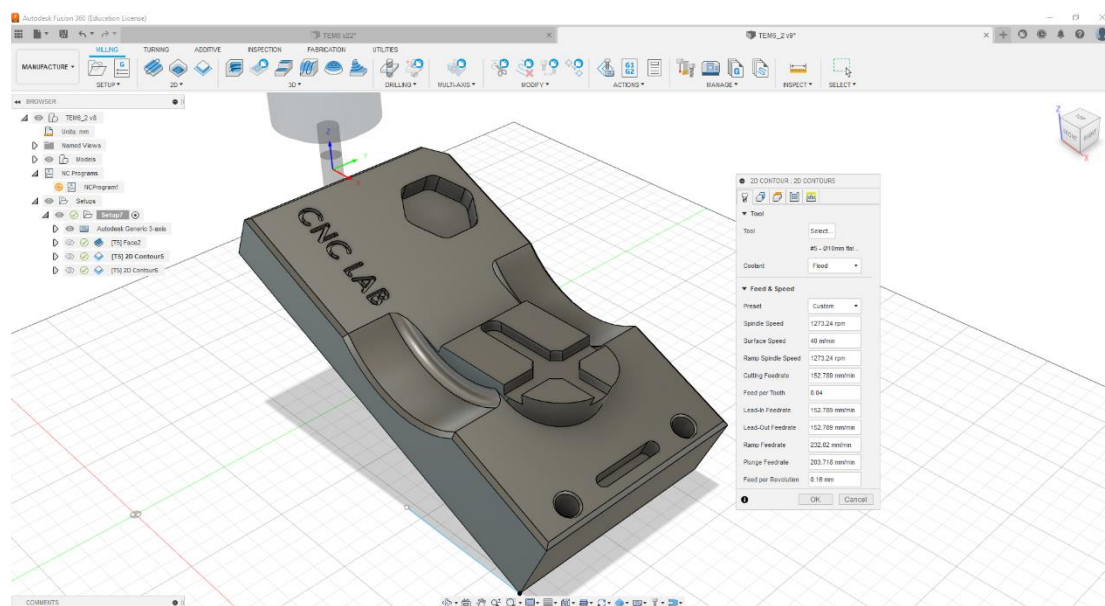
Για την επιλογή της δεύτερης κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέγουμε την εντολή **2D Contour** διότι δημιουργεί μια διαδρομή για το κοπτικό εργαλείο με βάση το περίγραμμα του μοντέλου.



Εικόνα 3.2.2.6

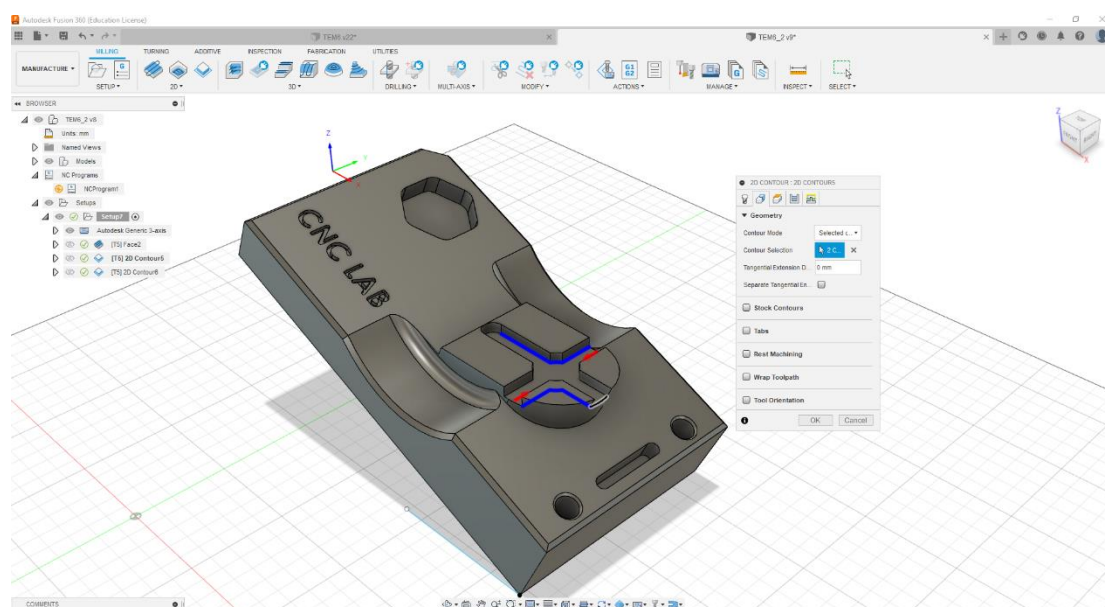
Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Flat end mill** με διάμετρο 10mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το

Custom ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και επιλέξαμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 1273RPM, πρόωση ανά δόντι 0,04mm/tooth, πρόωση 204mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,16mm/rev.



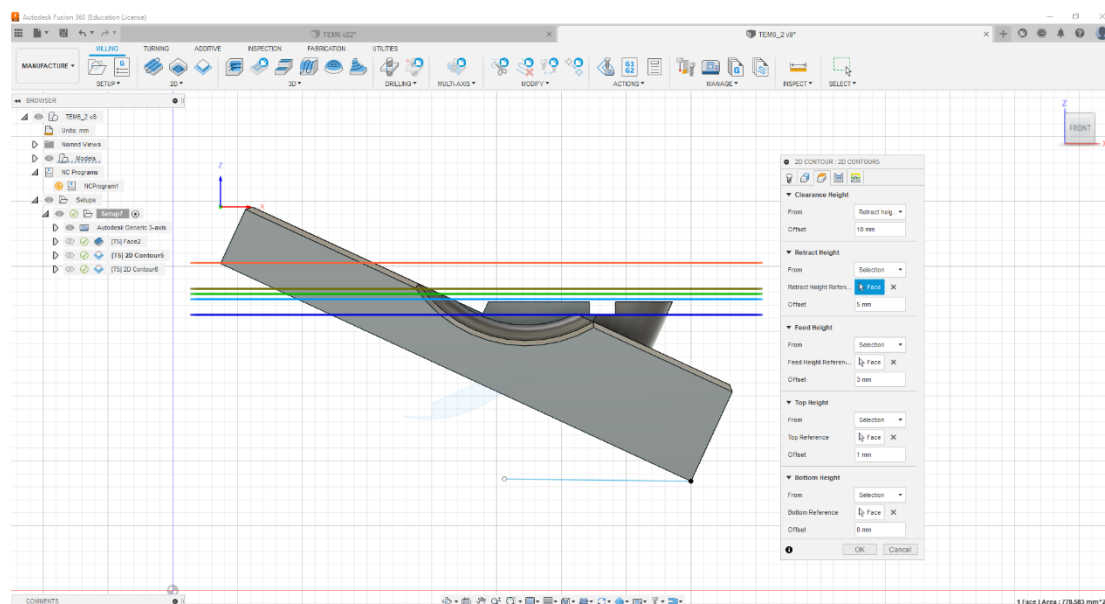
Εικόνα 3.2.2.7 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή 2D Contour.

Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Contour Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2.2.8 .



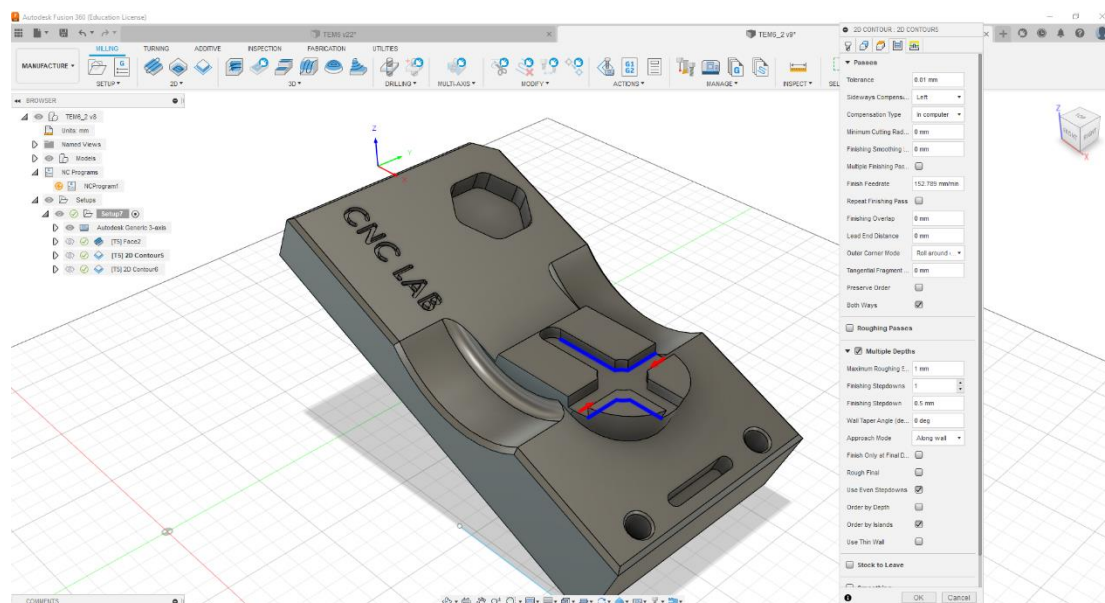
Εικόνα 3.2.2.8 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή 2D Contour.

Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Feed Height** στα 3mm από την επιλεγμένη επιφάνεια, το **Top Height** στα 1mm από την επιλεγμένη επιφάνεια και **Bottom Height** το ορίσαμε 0mm από την επιλεγμένη επιφάνεια.



Εικόνα 3.2.2.9 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή 2D Contour.

Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.65 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Multiple Depths** και ορίζουμε 1mm **Maximum Roughing Stepdown**. Ακόμη επιλέγουμε και ένα πέρασμα φινιρίσμα τον 0,5mm στο **Finishing Stepdown**.

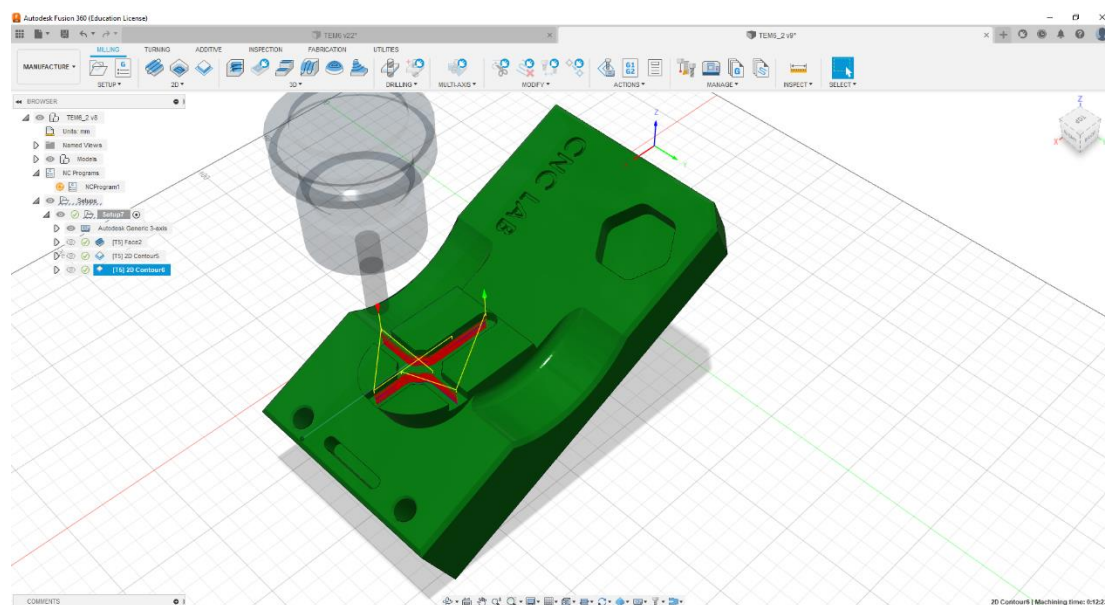


Εικόνα 3.2.3 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς για την εντολή 2D Contour.

Στην καρτέλα **Linking** ορίζουμε το **Safe distance** στα 2mm και επιλέγουμε παρακάτω την επιλογή **Ramp**, με Ramping angle 2 (deg), Maximum Ramp stepdown 1m και Ramp clearance height 2mm.

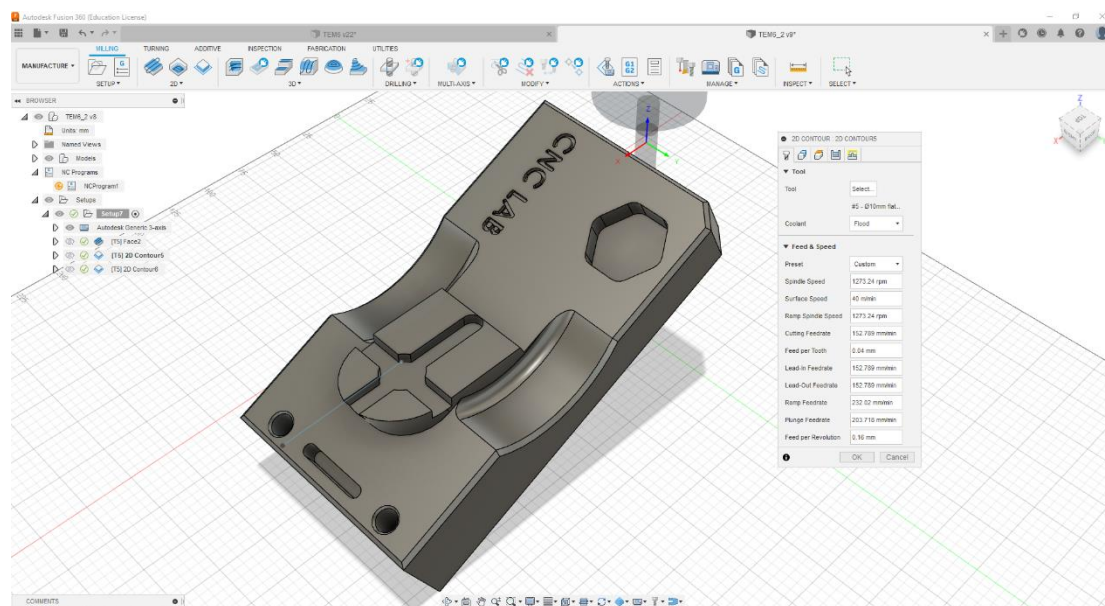
- **2D Contour2**

Για την επιλογή της τρίτης κατεργασίας πηγαίνουμε στην κατηγορία των κατεργασιών 2D επιλέγουμε την εντολή **2D Contour** όπως προηγουμένως.



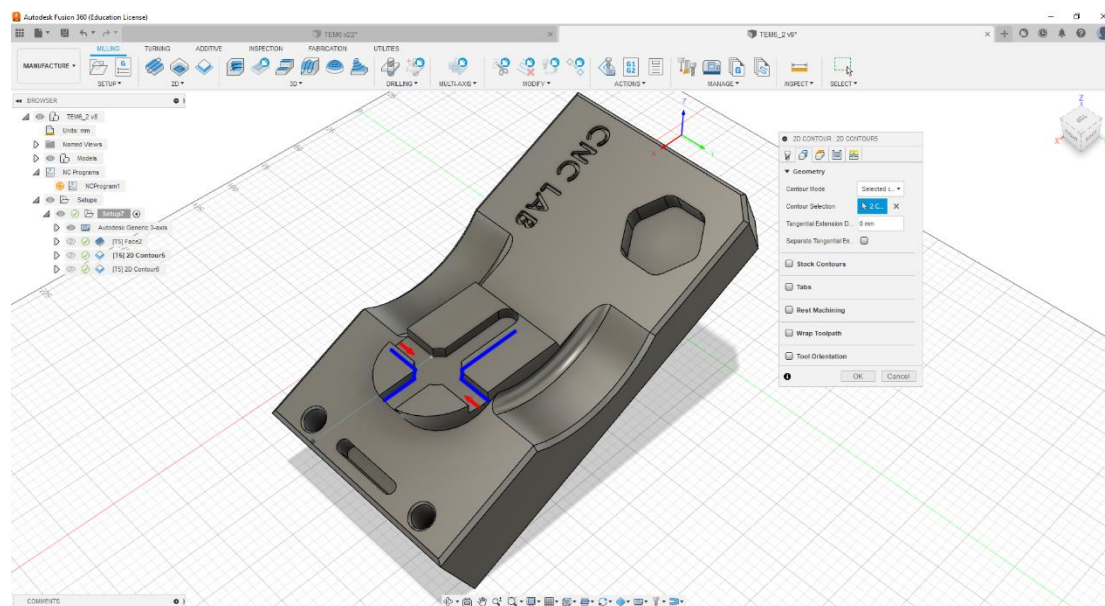
Εικόνα 3.2.3.1

Το κοπτικό εργαλείο που επιλέξαμε στην συγκεκριμένη κατεργασία είναι ένα κοπτικό **Flat end mill** με διάμετρο 10mm και ορίσαμε ψυκτικό μέσο στο **Coolant** και επιλέγουμε το **Flood**. Στην ενότητα **Feed & Speed** επιλέγουμε το **Custom** ώστε να μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις ταχύτητες πρόωσης και τις στροφές και επιλέξαμε ταχύτητα κοπής 40m/min, ταχύτητα περιστροφής 1273RPM, πρόωση ανά δόντι 0,04mm/tooth, πρόωση 204mm/min και πρόωση ανά περιστροφή 0,16mm/rev.



Εικόνα 3.2.3.2 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας για την εντολή 2D Contour.

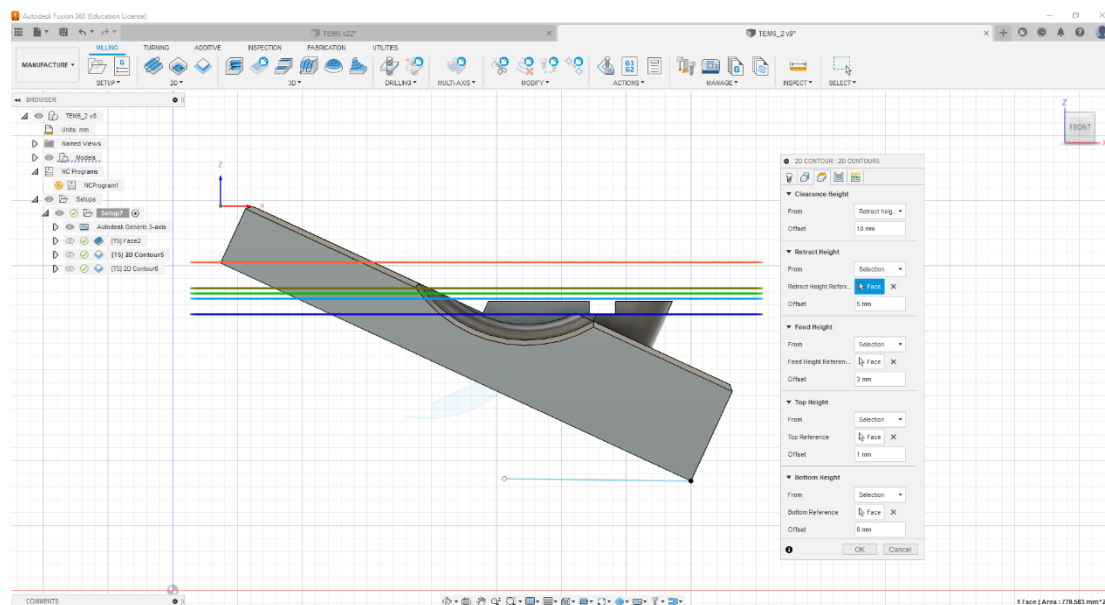
Στην καρτέλα **Geometry** στην επιλογή **Contour Selection** ορίσαμε την επιθυμητή γεωμετρία που θέλουμε να κατεργαστεί το κοπτικό μας, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2.2.8 .



Εικόνα 3.2.3.3 : Επιλογή γεωμετρίας για την εντολή 2D Contour.

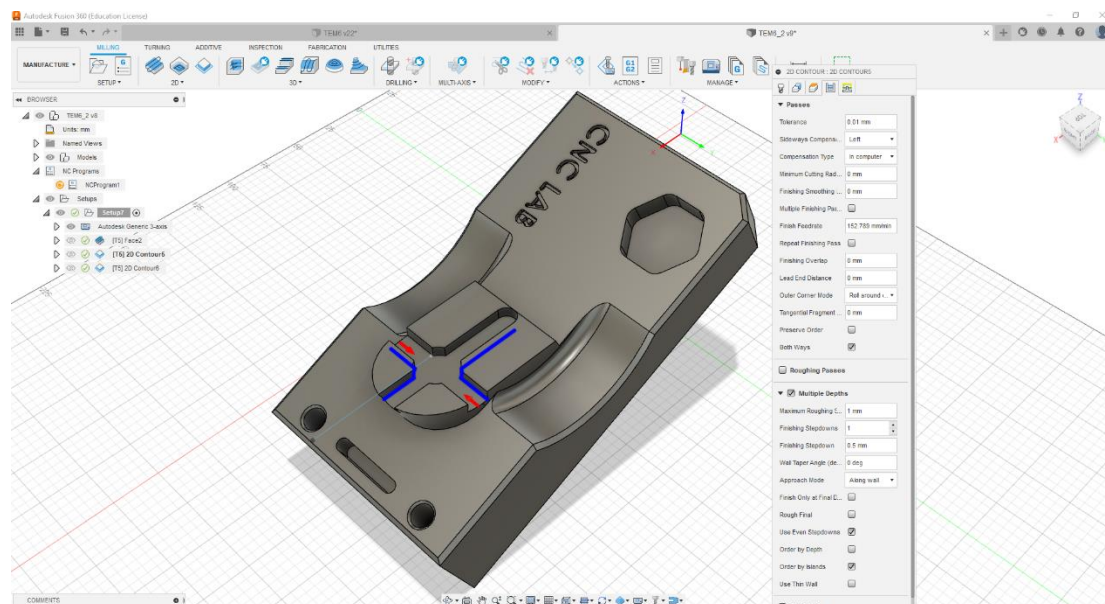
Στην καρτέλα **Heights** τοποθετήσαμε το **Clearance Height** στα 10mm, το **Retract Height** στα 5mm, το **Feed Height** στα 3mm από την επιλεγμένη

επιφάνεια, το **Top Height** στα 1mm από την επιλεγμένη επιφάνεια και **Bottom Height** το ορίσαμε 0mm από την επιλεγμένη επιφάνεια.



Εικόνα 3.2.3.4 : Ορισμός επιπέδων για την εντολή 2D Contour.

Και τέλος στη καρτέλα **Passes** όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.65 ορίσαμε την πορεία του κοπτικού εργαλείου, επιλέγουμε το **Multiple Depths** και ορίζουμε 1mm **Maximum Roughing Stepdown**. Ακόμη επιλέγουμε και ένα πέρασμα φινιρίσμα τον 0,5mm στο **Finishing Stepdown**.



Εικόνα 3.2.3.4 : Επιλογή πορείας και βάθους κοπείς για την εντολή 2D Contour.

Στην καρτέλα **Linking** ορίζουμε το **Safe distance** στα 2mm και επιλέγουμε παρακάτω την επιλογή **Ramp**, με Ramping angle 2 (deg), Maximum Ramp stepdown 1m και Ramp clearance height 2mm.

3.3 Προσομοίωση κατεργασιών

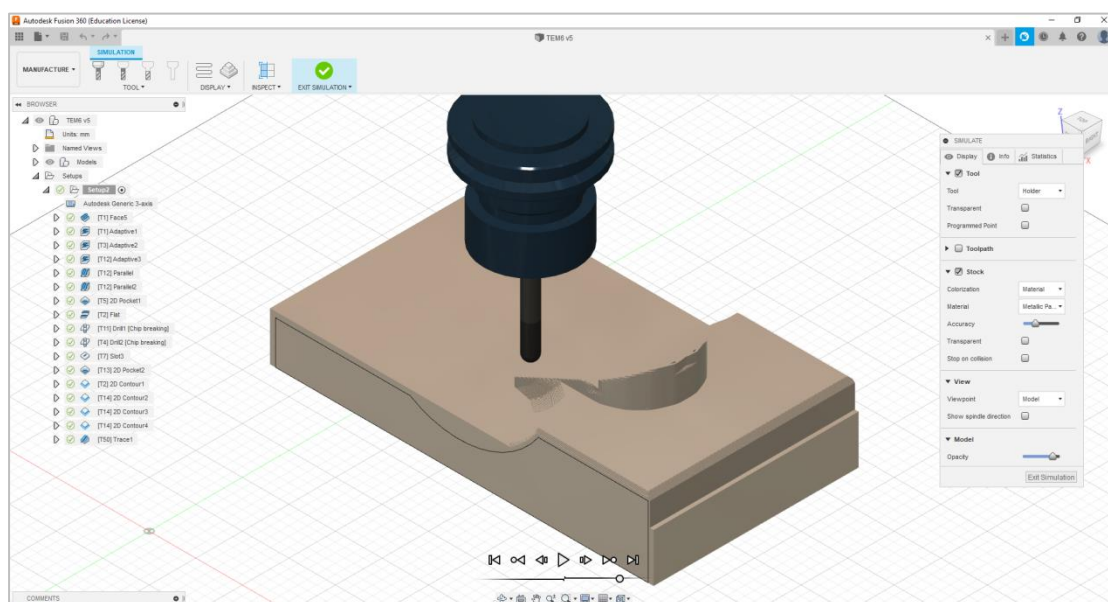
Η προσομοίωση της κατεργασίας γίνεται απευθείας στο πρόγραμμα αμέσως μετά την ολοκλήρωση μιας κατεργασίας ή στο τέλος του προγραμματισμού.

Σκοπός της προσομοίωσης της κίνησης είναι ο οπτικός έλεγχος για τυχόν προβλήματα στην κατεργασία, όπως:

- Παρεμβολές μεταξύ του κοπτικού εργαλείου και των συστημάτων οδήγησης και συγκράτησης του εξαρτήματος ή του τραπεζιού της εργαλειομηχανής, ιδιαίτερα για τις κινήσεις του κοπτικού εργαλείου στις οποίες αυτό μετακινείται χωρίς να κόβει δηλαδή στις γρήγορες κινήσεις επανατοποθέτησης.
- Ανάδειξη περιοχών στις οποίες δεν μπορεί να εισχωρήσει το εργαλείο με αποτέλεσμα να μην ολοκληρώνεται η κατεργασία ή περιοχές στις οποίες κόβει το κοπτικό εργαλείο χωρίς να πρέπει να κόψει.

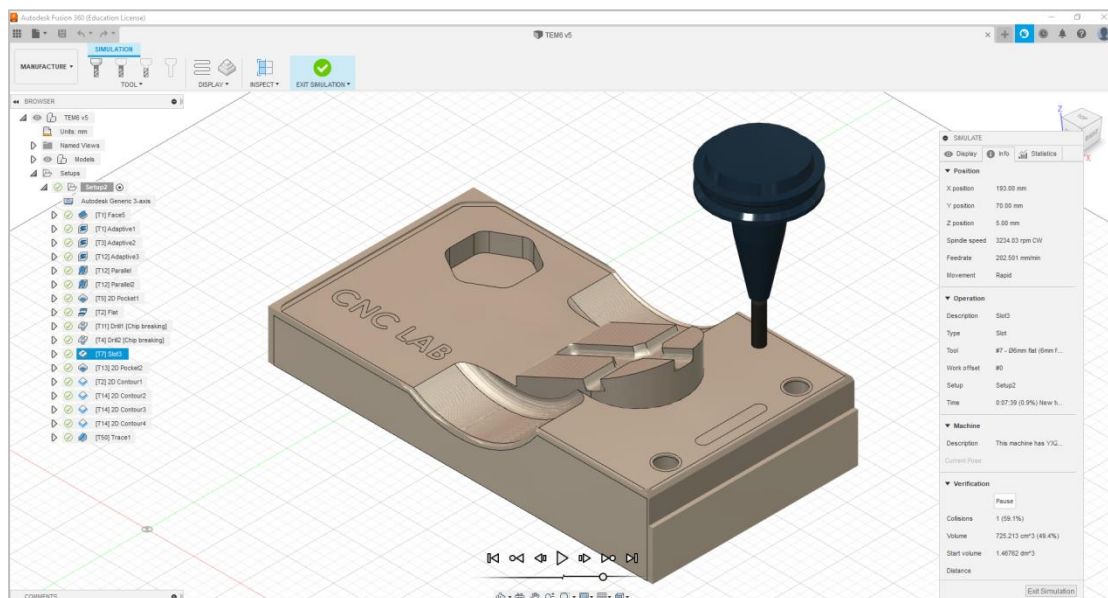
Για την προσομοίωση των κατεργασιών πηγαίνουμε στην κατηγορία Actions και επιλέγουμε το **Simulate** για να γίνει μια συνολική προσομοίωση όλων των κατεργασιών.

Στην καρτέλα **Display** απενεργοποιούμε την επιλογή **Toolpath** διότι στην συγκεκριμένη περίπτωση μας ενδιαφέρει περισσότερο ο οπτικός έλεγχος για τυχόν προβλήματα στις κατεργασίες. Στο **Stock** επιλέγουμε το **material** στο **colorization**.



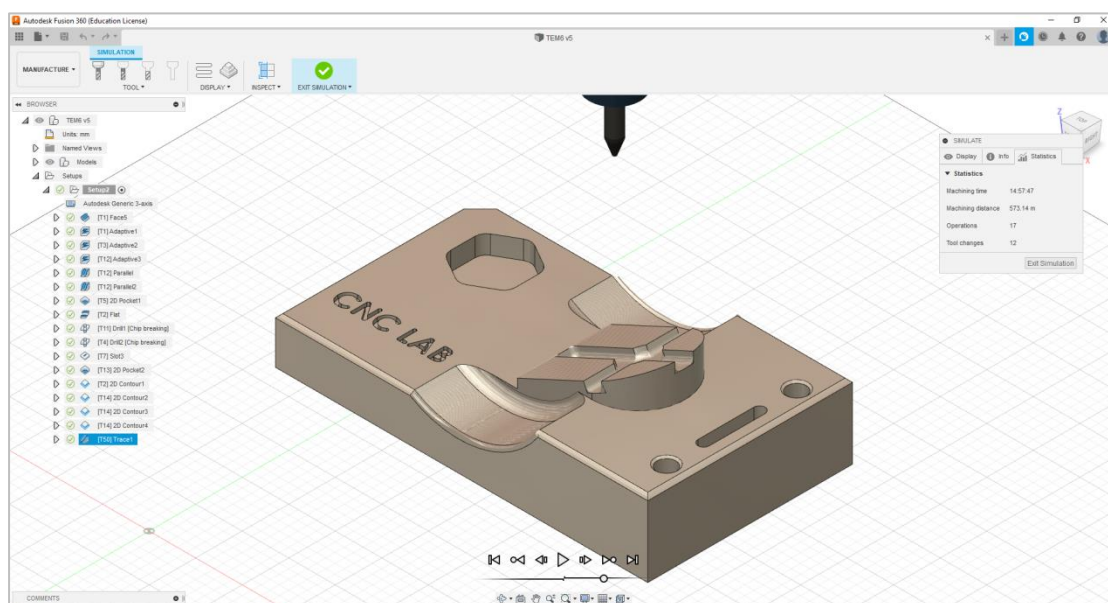
Εικόνα 3.86 : Προσομοίωση κατεργασίας, καρτέλα Display .

Στην καρτέλα **Info** μας δίνονται στοιχεία όσον αφορά την κατεργασία που γίνεται την συγκεκριμένη στιγμή, το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιείτε, τις στροφές και την ταχύτητα του κοπτικού ακόμη και τον χρόνο που έκανε η συγκεκριμένη κατεργασία.



Εικόνα 3.87 : Προσομοίωση κατεργασίας, καρτέλα Info.

Τέλος στην καρτέλα **Statistics** εμφανίζονται στοιχεία για τον χρόνο που έκανε η εργαλειομηχανή να εκτέλεση όλες της κατεργασίες καθώς και την απόσταση που διένυσε. Επιπλέον καταλήγουμε ότι δεν υπήρξαν αστοχίες μεταξύ κοπτικού και τεμαχίου σε καμιά κατεργασία.

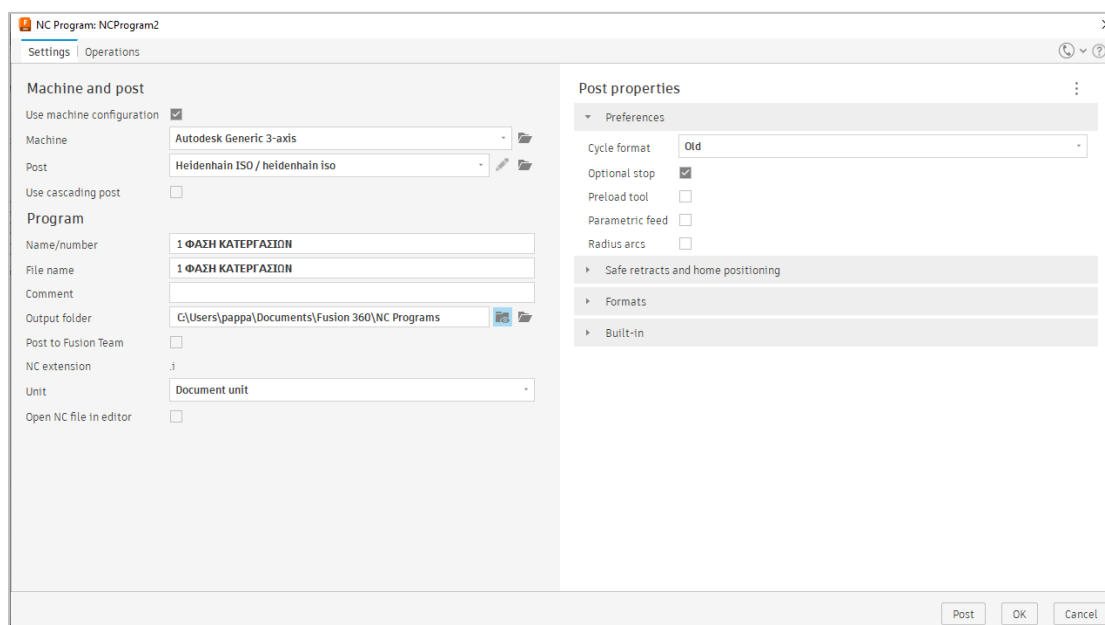


Εικόνα 3.88 : Προσομοίωση κατεργασίας, καρτέλα Statistics.

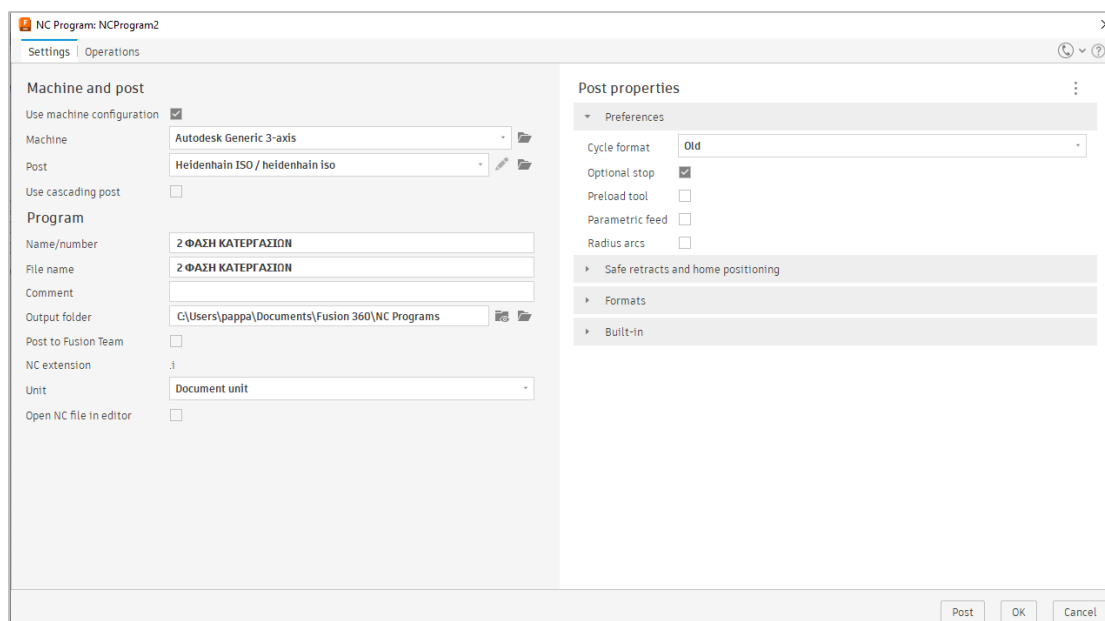
3.4 Εξαγωγή κώδικά

Για την σύζευξη του συστήματος προγραμματισμού κατεργασιών με την εργαλειομηχανή CNC χρειάζεται η δημιουργία ενός κώδικα με την χρήση ενός τελικού επεξεργαστή που μεταφράζει το πρόγραμμα της εργαλειομηχανής που εξάγεται από το σύστημα CAM, στην γλώσσα που κατανοεί το σύστημα ελέγχου της εργαλειομηχανής που συνήθως είναι της μορφής G-Code.

Για την εξαγωγή του κώδικα πηγαίνουμε στην κατηγορία **Setup** και επιλέγουμε την εντολή **Create NC Program**. Στην καρτέλα Setting υπάρχουν προκαθορισμένα στοιχεία από την εργαλειομηχανή που επιλέξαμε. Ακόμη μπορούμε να επιλέξουμε τον επεξεργαστή που έχει η μηχανή μας και στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέξαμε τον **Heidenhain ISO**. Στην περίπτωση μας θα εξάγουμε δυο κώδικες έναν για την πρώτη φάση των κατεργασιών και έναν για την δεύτερη φάση των κατεργασιών.

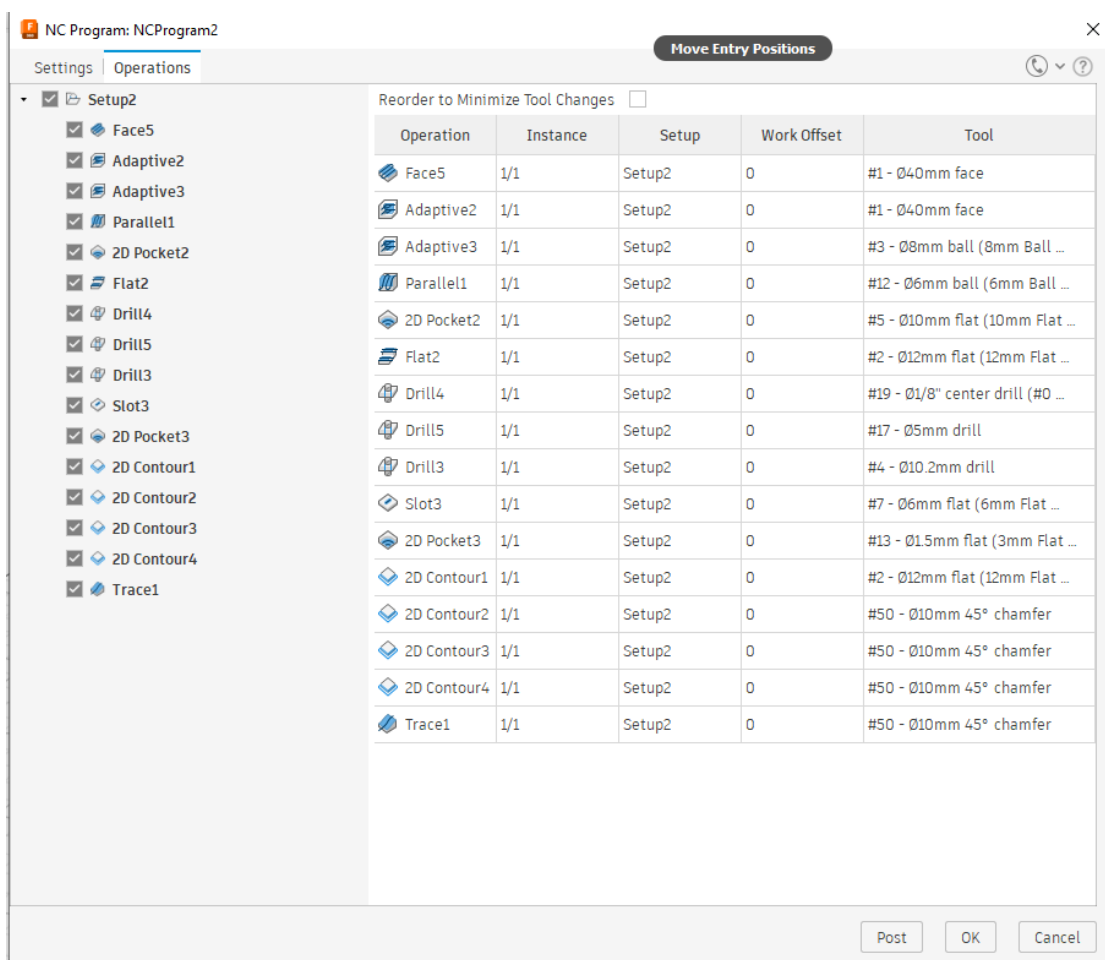


Εικόνα 3.89 : Εξαγωγή κώδικα για την 1^η φάση των κατεργασιών.



Εικόνα 3.90 : Εξαγωγή κώδικα για την 2^η φάση των κατεργασιών

Στην καρτέλα Operations εμφανίζονται όλες οι κατεργασίες που έχουμε προγραμματίσει καθώς και τα κοπτικά εργαλεία που έχουμε επιλέξει για την κάθε κατεργασία.



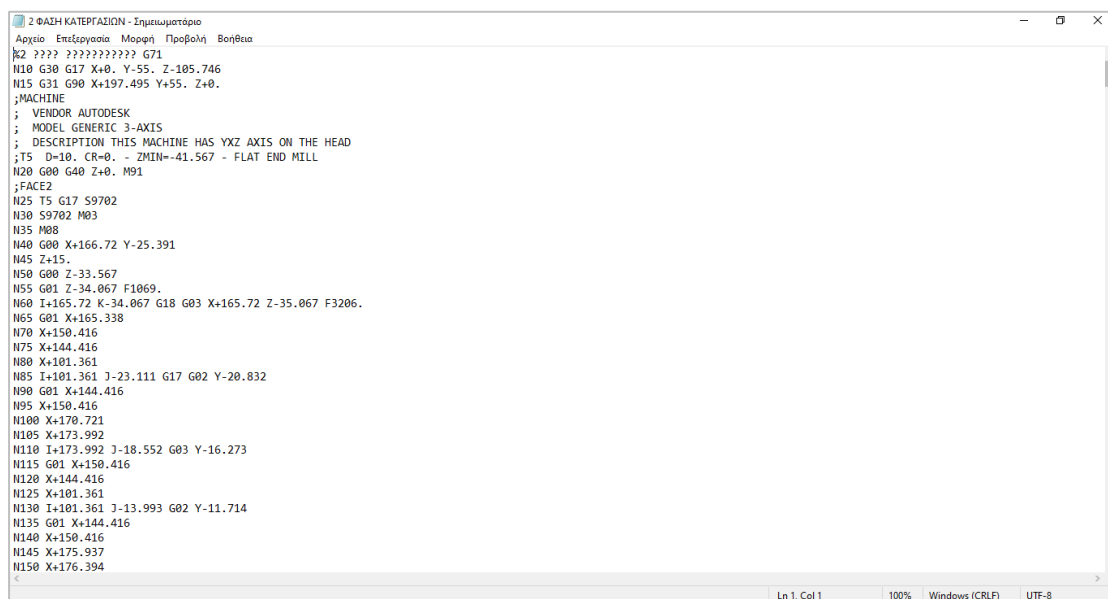
Εικόνα 3.91 : Κατεργασίες και τα αντίστοιχα κοπτικά εργαλεία που επιλέξαμε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο



```
1 ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ - Σημειωματάριο
Αρχείο  Επεξεργασία  Μορφή  Προβολή  Βοήθεια
%1 >>>> >>>>>>>>>> G71
N10 G30 G17 X-103. Y-55. Z-64.767
N15 G31 G90 X+103. Y+55. Z+0.
;MACHINE
; VENDOR AUTODESK
; MODEL GENERIC 3-AXIS
; DESCRIPTION THIS MACHINE HAS XYZ AXIS ON THE HEAD
;T1 D=40. CR=0. - ZMIN=-38.767 - FACE MILL
;T2 D=12. CR=0. - ZMIN=-64.767 - FLAT END MILL
;T3 D=8. CR=4. - ZMIN=-46.294 - BALL END MILL
;T4 D=10.2 CR=0. TAPER=118DEG - ZMIN=-70.831 - DRILL
;T5 D=10. CR=0. - ZMIN=-49.767 - FLAT END MILL
;T7 D=6. CR=0. - ZMIN=-34.767 - FLAT END MILL
;T11 D=11.112 CR=0. TAPER=118DEG - ZMIN=-27.767 - CENTER DRILL
;T12 D=6. CR=3. - ZMIN=-46.889 - BALL END MILL
;T13 D=1.5 CR=0. - ZMIN=-41.767 - FLAT END MILL
;T14 D=12.7 CR=0. TAPER=45DEG - ZMIN=-48.889 - CHAMFER MILL
N20 G00 G40 Z+0. M91
;FACES
N25 T1 G17 S957
N30 S957 M03
N35 M08
N40 G00 X+128.626 Y-59.014
N45 Z+10.
N50 G00 Z+3.8
N55 I+124.626 K+3.8 G18 G03 X+124.626 Z-0.2 F612.
N60 G01 X+123.01
N65 X-123.01
N70 I-123.01 J-51.111 G17 G02 Y-43.209
N75 G01 X+123.01
N80 I+123.01 J-35.306 G03 Y-27.403
N85 G01 X-123.01
N90 I-123.01 J-19.5 G02 Y-11.597
N95 G01 X+123.01
N100 I+123.01 J-3.694 G03 Y+4.209
N105 G01 X-123.01
<
Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Εικόνα 3.93: Στιγμιότυπο από τον κώδικα της πρώτης φάσης των κατεργασιών.



```
2 ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ - Σημειωματάριο
Αρχείο  Επεξεργασία  Μορφή  Προβολή  Βοήθεια
%2 >>>> >>>>>>>>>> G71
N10 G30 G17 X+0. Y-55. Z-105.746
N15 G31 G90 X+197.495 Y+55. Z+0.
;MACHINE
; VENDOR AUTODESK
; MODEL GENERIC 3-AXIS
; DESCRIPTION THIS MACHINE HAS XYZ AXIS ON THE HEAD
;T5 D=10. CR=0. - ZMIN=-41.567 - FLAT END MILL
N20 G00 G40 Z+0. M91
;FACE2
N25 T5 G17 S9702
N30 S9702 M03
N35 M08
N40 G00 X+166.72 Y-25.391
N45 Z+15.
N50 G00 Z-33.567
N55 G01 Z-34.067 F1069.
N60 I+165.72 K-34.067 G18 G03 X+165.72 Z-35.067 F3206.
N65 G01 X+165.338
N70 X+150.416
N75 X+144.416
N80 X+101.361
N85 I+101.361 J-23.111 G17 G02 Y-20.832
N90 G01 X+144.416
N95 X+150.416
N100 X+170.721
N105 X+173.992
N110 I+173.992 J-18.552 G03 Y-16.273
N115 G01 X+150.416
N120 X+144.416
N125 X+101.361
N130 I+101.361 J-13.993 G02 Y-11.714
N135 G01 X+144.416
N140 X+150.416
N145 X+175.937
N150 X+176.394
<
Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Εικόνα 3.94: Στιγμιότυπο από τον κώδικα της δεύτερης φάσης των κατεργασιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός

- Φρέζα 3 αξόνων Bridgeport Series 2 Interact 2 CNC

Η CNC φρέζα Bridgeport Series 2 Interact 2 του εργαστηρίου διαθέτει ηλεκτροκινητήρα συνολικής ισχύος 1,2kW με ροπή στρέψεως 3,2 Nm, εύρος ταχύτητας περιστροφής ατράκτου από 50 έως 3750 rpm, μέγιστη ταχύτητα προώσεως 5000mm/ min σε όλους του άξονες κίνησης X, Y και Z. Επίσης διαθέτει κινούμενο τραπέζι εργασίας διαστάσεων 1194x 422mm με αρκετά μεγάλη επιφάνεια κατεργασίας 965 x380 mm και αντλία ψυκτικού υγρού αυτοματοποιημένης λειτουργίας. Η ακρίβεια θέσης της τράπεζας είναι της τάξης εκατοστό του χιλιοστόμετρου ($\pm 0,010\text{mm}$) με βάση τον κατασκευαστή, πράγμα το οποίο την κάνει μια αρκετά ακριβείς εργαλειομηχανή για τις κατεργασίες τις οποίες θέλουμε να κάνουμε.



Εικόνα 4.1 : Φρέζα Bridgeport Series 2 Interact 2

- Μηχανουργική μέγγενη

Πρόκειται για έναν μηχανισμό συγκράτησης των τεμαχίων προς κατεργασία, το οποίο εφαρμόζεται σε συγκεκριμένο σημείο στην κινούμενη τράπεζα της εργαλειομηχανής έτσι ώστε να πετύχουμε σταθερή και δυνατή συγκράτηση κατά την κοπή του κομματιού.



Εικόνα 4.2 : Μηχανουργική μέγγενη

- Κεκλιμένη μηχανουργική μέγγενη 2 αξόνων

Πρόκειται για έναν μηχανισμό συγκράτησης των τεμαχίων προς κατεργασία, το οποίο εφαρμόζεται σε συγκεκριμένο σημείο στην κινούμενη τράπεζα της εργαλειομηχανής έτσι ώστε να πετύχουμε σταθερή και δυνατή συγκράτηση κατά την κοπή του κομματιού. Η ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης μέγγενης είναι οι βαθμοί ελευθερίας κίνησης που μας επιτρέπει να έχουμε. Στην συγκεκριμένη έχουμε δυο βαθμούς ελευθερίας, την περιστροφή κατά τον κάθετο άξονα και δημιουργία κλίσης κατά τον οριζόντιο άξονα. Η ελευθερία των κινήσεων αυτών επιτυγχάνεται με τις γλίστρες όπου εδράζεται ο μηχανισμός σύσφιξης.



Εικόνα 4.3 : Κεκλιμένη μηχανουργική μέγγενη 2 αξόνων

- Ρολόι μηδενισμού επαφής 3D

Το ρολόι μηδενισμού επαφής 3D είναι ένα πολύ ακριβές και ευέλικτο όργανο μέτρησης όπου χρησιμοποιείται συχνά στις μηχανές φρεζαρίσματος και στα κέντρα κατεργασίας. Το όργανο αυτό εισάγεται στην άτρακτο της μηχανής και με χειροκίνητο έλεγχο των κινήσεων μπορούμε είτε να ορίσουμε τους μηδενικούς άξονες της άτρακτου στο δοκίμιο όπου θα κατεργαστούμε, είτε να μετρήσουμε τις διαστάσεις του δοκιμίου πριν και μετά την κατεργασία με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Το μετρητικό όργανο μπορεί να μετρήσει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση (X, Y, Z) και η ακρίβεια του οργάνου είναι της τάξεως των 0,01 mm.



Εικόνα 4.3 : Ρολόι μηδενισμού επαφής 3D

- Κοππικά εργαλεία:
 1. Φρεζοκεφαλή 40mm με αλλασώμενα πλακίδια
 2. Κονδύλι σφαιρικής απόληξης (ball nose end mill) 8mm καρβιδίου-νιτρίδιο τιτανίου αλουμινίου(carbide- TiAlN)
 3. Κονδύλι σφαιρικής απόληξης (ball nose end mill) 6mm μακρύ κοβαλτίου (cobalt)
 4. Κονδύλι επίπεδης απόληξης (flat- end mill) 10mm Κοβαλτίου
 5. Κεντραδόρος 3,15x8 mm ταχυχάλυβα (HSS)
 6. Τρυπάνι κοβαλτ (cobalt) 5mm
 7. Τρυπάνι κοβαλτίου (cobalt) 10.2mm
 8. Κονδύλι επίπεδης απόληξης 6mm κοβαλτίου (cobalt)
 9. Κονδύλι επίπεδης απόληξης 12mm κοβαλτίου (cobalt)
 10. Κονδύλι λοξοτόμησης 10mm



Εικόνα 4.4: Κοπτικά εργαλεία

4.2 Υλικό κατεργασίας

Για την κατεργασία θα χρησιμοποιηθεί κομμάτι παραλληλόγραμμο από επίπεδη μαύρη λαμαρίνα πάχους $t=70\text{mm}$ και θα κοπεί με οξυγονοκοπή σε διαστάσεις 116×210 (mm) όπου και αυτό θα είναι το πρόπλασμα για το τεμάχιο προς κατεργασία. Η ποιότητα της λαμαρίνας με βάση τον γερμανικό οργανισμό τυποποίησης (DIN) είναι St-37.2 . Πρόκειται για κοινό χάλυβα κατασκευών με χαμηλή περιεκτικότητα σε πρόσθετα υλικά , δηλαδή είναι ένας ελαφριά κραματωμένος χάλυβας και έχει σε περιεκτικότητα άνθρακα (C) 0,2%. Το συγκεκριμένο υλικό χρησιμοποιείται σε ένα αρκετά ευρύ πεδίο εφαρμογών , μερικά από αυτά είναι σε κατασκευές μεταλλικών σκελετών, στην ναυτιλία, στην αυτοκινητοβιομηχανία, βιομηχανικά προϊόντα κλπ. Η επιλογή του συγκεκριμένου υλικού έγινε με βάση την τελική χρήση του προϊόντος αλλά και με βάση την ιδιότητα του σε κατεργασιμότητα. Ωστόσο η επιλογή του έγινε για τα πρότυπα της πτυχιακής εργασίας που εστιάζει σε οδηγό χρήσης για έναν αρχάριο χειριστή εργαλειομηχανής όπου θα έχει μια βάση για να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις της βιομηχανίας. Η προμήθευση του υλικού θα γίνει από κατάστημα εμπόριου μετάλλων εντός Ελλάδας το οποίο θα επιμεληθεί και την κοπή του στις συγκεκριμένες διαστάσεις που χρειαζόμαστε. Το κόστος του συγκεκριμένου κομματιού υπολογίζεται με βάση το βάρος του, τα έξοδα της εταιρείας για να μας το παρέχει συνυπολογισμένο και το κέρδος της.

4.3 Απαραίτητες ενέργειες για την κατεργασία

Στην πρώτη φάση κατεργασιών ξεκινώντας την διαδικασία θα πρέπει να γίνει η πρόσδεση της μέγγενης στην κινητή τράπεζα και με την χρήση του ρολογιού επαφής 3D θα ευθυγραμμίσουμε την μέγγενη σε σχέση με την κίνηση της τράπεζας. Αυτό επιτυγχάνεται ακουμπώντας την μύτη από το ρολόι επαφής 3D στο σταθερό μάγουλο την μέγγενης και με κινήσεις εκατέρωθεν κατά την φορά της επιφάνειας ευθυγραμμίζουμε την μέγγενη.

Η πρώτη ύλη θα χρειαστεί πρώτα να γίνουν κάποιες ενέργειες , προτού ξεκινήσει η διαδικασία κατεργασίας, έτσι ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επειδή μετά την κοπή από το οξυγόνο οι επιφάνειες περιμετρικά του κομματιού δεν θα είναι επίπεδες αλλά ακανόνιστες με αυλακώσεις και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθιστά την συγκράτηση του αδύνατη ή ακόμα και επικίνδυνη για το χειριστή. Πρέπει λοιπόν πρώτα να κατεργαστούν όλες οι πλευρές από το δοκίμιο και να έρθουν στις τελικές διαστάσεις έτσι ώστε να προσδεθεί σωστά και να προχωρήσει στην κατεργασία του. Οι κατεργασίες αυτές είναι όλες κατεργασίες προσώπου και με την χρήση μίας συμβατικής κάθετης φρέζας ή την Bridgerort series 2 θα αφαιρεθεί υλικό από τις πλευρές του δοκιμίου έως ότου γίνουν επίπεδες. Οι κατεργασίες αυτές γίνονται χωρίς προγραμματισμό μέσα το πρόγραμμα CAM αλλά γίνονται μέσα από την βιβλιοθήκη έτοιμων κύκλων κατεργασίας της εργαλειομηχανής. Για την κατεργασία προσώπου θα χρησιμοποιηθεί η φρεζοκεφαλή με αλλασώμενα κοπτικά πλακίδια 40mm, οι τελικές διαστάσεις του τεμαχίου θα είναι 206x 110x 65 mm .

Εφόσον γωνιαστεί το δοκίμιο και έχει τις τελικές του διαστάσεις προσδένεται στην μέγγενη βάζοντας δυο μηχανουργικά παράλληλα πλακίδια ίδιας διάστασης στο κάτω μέρος του τεμαχίου έτσι ώστε να προσδεθεί στα 14mm από το κάτω μέρος του δοκιμίου. Αυτό εξυπηρετεί ώστε να μην υπάρξει κάποιο ατύχημα με την άτρακτο και την μέγγενη κατά την όλη κατεργασία. Χρησιμοποιώντας τον ρολόι επαφής 3D ορίζουμε το σύστημα συντεταγμένων του τεμαχίου στην μηχανή στους τρεις άξονες κίνησης. Ορίζουμε το σύστημα συντεταγμένων σύμφωνα όπως έχει οριστεί και κατά τον προγραμματισμό του στο περιβάλλον CAM. Επειδή η μηχανή δεν διαθέτει αυτόματο εργαλειοφορέα θα πρέπει σε κάθε αλλαγή κύκλου κατεργασίας να γίνεται μέτρηση του απαραίτητου μήκους των εργαλείων και ο μηδενισμός τους. Ωστόσο πρέπει να δοθεί προσοχή στα μήκη των κοπτικών με βάση όπως έχουν προγραμματιστεί.

Στην δεύτερη φάση κατεργασιών πρέπει να αφαιρεθεί η μηχανουργική μέγγενη από την κινητή τράπεζα και να εφαρμοστεί με την ίδια ακριβώς διαδικασία η κεκλιμένη μηχανουργική μέγγενη και να ευθυγραμμιστεί αντίστοιχα. Ορίζοντας την κλίση της μέγγενης η οποία είναι 24,8°, έτσι ώστε το κεκλιμένο επίπεδο του τεμαχίου να γίνει παράλληλο με το την κινητή τράπεζα. Αυτό γίνεται διότι οι βαθμοί ελευθερίας της φραιζας δεν έχουν την δυνατότητα να κατεργαστούν την γεωμετρία του δοκιμίου και να επιτύχουμε την ζητούμενη γεωμετρία. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία μηδενισμού με βάση του προγράμματος CAM. Τα απαραίτητα μήκη των κοπτικών εργαλείων αντλούνται μέσα από το πρόγραμμα CAM, έτσι ώστε να αποφευχθούν ατυχήματα κατά τους κύκλους κατεργασίας.

Υπολογισμοί ταχυτήτων και προώσεων:

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * d}, \quad V_f = n * z * f_z, \quad f_n = \frac{V_f}{n}, \quad Q = \frac{a_p * a_e * V_f}{1000}$$

Όπου :

Σύμβολο	Φυσικό μέγεθος	Μονάδα μέτρησης
Vc	Ταχύτητα κοπής	m/min
d	Διάμετρος κοπτικού εργαλείου	mm
n	Ταχύτητα περιστροφής	rev/min (rpm)
Vf	Πρόωση	mm/min
z	Αριθμός δοντιών κοπτικού εργαλείου	-
fz	Πρόωση ανά δόντι	mm/tooth
fn	Πρόωση ανά περιστροφή	mm/rev
Q	Ρυθμός αποβολής αποβλήτου	cm/min
ap	Αξονικό βάθος κοπής	mm
ae	Ακτινικό βάθος κοπής	mm

Εργαλείο	D(mm)	z (flutes)	Vc (m/min)	n (RPM)	Fz (mm/tooth)	Vf (mm/min)	Fn (mm/rev)
FaceMill_40mm	40	5	120	955	0,1	477	0,5
Ball_endmill_8mm	8	4	50	1989	0,044	350	0,176
Ball_endmill_6mm_long	6	2	40	2122	0,036	153	0,072
Flat_endmill_10mm	10	4	40	1273	0,04	204	0,16
Centre_drill_3,15mm	3,15	2	25	2526	0,0266	134	0,0532
Drill_5mm	5	2	25	1592	0,0421	134	0,05
Drill_10,2mm	10,2	2	25	780	0,0729	114	0,1
Flat_endmill_6mm	6	4	40	2122	0,025	212	0,1
Flat_endmill_1,5mm	1,5	2	40	8488	0,011	187	0,022
Flat_endmill_12mm	12	4	40	1061	0,06	255	0,24
countersunk_10mm	10	2	40	1273	0,04	102	0,08

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, Μηχανουργική Τεχνολογία: Κατεργασίες με Αφαίρεση Υλικού τόμος Β, Εκδόσεις Τζιόλα.
- [2] Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, Μηχανολογικό Σχέδιο, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα.
- [3] Νικόλαος Μπιλάλης, Εμμανουήλ Μαραβελάκης, Συστήματα CAD/CAM και Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση, 3^η Έκδοση, Εκδόσεις Κριτική.
- [4] Σημειώσεις e-class, Ψηφιακά Καθοδηγούμενες Εργαλειομηχανές, Τσίρκας Σωτήριος.
- [5] Σημειώσεις e-class, Μηχανουργική Τεχνολογία, Τσίρκας Σωτήριος.
- [6] Michael Fitzpatrick, Machining and CNC Technology 4th Edition, Kindle Edition.
- [7] John R. Walker, Bob Dixon, Machining Fundamentals Tenth Edition.
- [8] Joshi P.H., Machine Tools Handbook: Design and Operation, McGraw-Hill Handbooks.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- [1] <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- [2] <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-1C665B4D-7BF7-4FDF-98B0-AA7EE12B5AC2>