



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Ψηφιακή καθοδήγηση κέντρου κατεργασιών CNC με χρήση προγραμματισμού"

Πέτρος Α. Ζωγράφος

Επιβλέπων καθηγητής
Δρ. Βασίλειος Δημητρίου, Καθηγητής Εφαρμογών

ΧΑΝΙΑ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το Δρ. Βασίλειο Δημητρίου, Καθηγητή Εφαρμογών, για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση που μου έδειξε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας καθώς και τους υπόλοιπους καθηγητές που γνωρίσαμε και συνεργαστήκαμε μαζί τους στα πλαίσια των σπουδών μας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Παπαδουλή Θεόδωρο, Λυμπερόπουλο Γεώργιο, Μπολανάκη Νικόλαο, το φίλο μου Σωτηρίου Στέφανο και τη συνεργάτη του Εργαστηρίου Πανδή Καλλιόπη, καθώς και τους γονείς μου για την πρακτική και ηθική τους υποστήριξη.

Χανιά, 2011
Ζωγράφος Πέτρος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
Εργαλειομηχανές.....	8
2. Εργοστασιακά τεχνικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες της εργαλειομηχανής HAAS VF1	11
2.1 Χώρος κατεργασιών	11
2.2 Η άτρακτος	12
2.3 Σύστημα συγκράτησης και εναλλαγής εργαλείων.....	14
2.4 ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ – Control Panel.....	17
2.4 Σύστημα συλλογής και άντλησης ψυκτικού υγρού (σαπουνέλαιο).	26
2.5 Πίνακας ηλεκτρολογικού - ηλεκτρονικού εξοπλισμού.	27
2.6 Παροχή αέρα και ρυθμιστής πίεσης.	28
2.7 Σύστημα αυτόματης λίπανσης οδηγών	29
2.8 Θύρα USB και διακόπτης φωτισμού καμπίνας.	30
3. Ψηφιακή καθοδήγηση κατεργασιών με τη βοήθεια προγραμματισμού.	30
3.1 Επιλογή πρώτης ύλης.	31
3.2 Προετοιμασία Α ύλης.	32
3.3 Επιλογή εργαλείων.....	33
3.4 Υπολογισμός παραμέτρων κοπής.	34
3.5 Επιλογή σειράς και διαδρομής (path) κατεργασιών.	35
3.6 Έλεγχος και προθέρμανση εργαλειομηχανής	36
3.9 Συγκράτηση τεμαχίου στη μέγγενη.	37
3.10 Μηδενισμός τεμαχίου	38
3.11 Μηδενισμός και αρίθμηση εργαλείων	40
3.12 Εισαγωγή κώδικα G στην εργαλειομηχανή.....	42
3.13 Έλεγχος του κώδικα από τα γραφικά της εργαλειομηχανής	43
3.14 Κοπή με και χωρίς χρήση της Single Block.....	43
3.15 Καθαρισμός - συντήρηση εργαλειομηχανής	45
4. Μηχανολογική μελέτη, σχεδιασμός, προγραμματισμός και κύκλοι κατεργασιών σε 8 χαρακτηριστικά δοκίμια.....	46
5. Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις.....	93

6. Βιβλιογραφία	94
7. Ορολογία - Συνομογραφίες	95

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η διερεύνηση του προγραμματισμού και λειτουργίας σύγχρονης εργαλειομηχανής CNC με στόχο τη βέλτιστη ψηφιακή καθοδήγησή της σε κατεργασίες με αφαίρεση υλικού. Η CNC εργαλειομηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι η VF1 της εταιρίας HAAS. Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά αυτής είναι: τα μήκη των διαδρομών με εύρος 514 mm στον άξονα X, 410 mm στον άξονα Y και 510 mm στον Z άξονα, η ισχύς της τάξεως των 20 HP, η χωρητικότητα μνήμης της τάξεως του 1 MB και ο μύλος απόθεσης εργαλείων που υποστηρίζει έως και 20 κοπτικά εργαλεία.

Η λειτουργία της εργαλειομηχανής βασίζεται στη χρήση του Αριθμητικού Ελέγχου *Numerical Control*, με χρήση Ηλεκτρονικού Υπολογιστή *Computer*. Ο συγκεκριμένος τύπος ελέγχου χρησιμοποιεί αριθμητικές τιμές για την αναφορά στη θέση και την κίνηση των αξόνων της μηχανής και πιο συγκεκριμένα στους κώδικες **G & M**. Οι κώδικες **G & M** αποτελούν αλληλουχίες και συνδυασμούς τυποποιημένων εντολών κίνησης, ενεργειών και βοηθητικών λειτουργιών, αντίστοιχα.

Για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας κατεργάστηκαν δοκίμια επιλεγμένων μηχανολογικών κατασκευαστικών σχεδίων, ώστε να μελετηθούν οι περισσότερες και σημαντικότερες δυνατότητες του κώδικα G και του κώδικα M, αλλά και να διερευνηθούν οι δυνατότητες της εργαλειομηχανής σε διαφορετικούς κύκλους κατεργασιών.

Η αξιολόγηση των τελικών τεμαχίων και των κατεργασιών που πραγματοποιήθηκαν οδήγησε σε σημαντικά συμπεράσματα για την ορθή λειτουργία της CNC και των εκάστοτε εντολών που χρησιμοποιούνται για κατεργασίες που περιλαμβάνουν φρεζάρισμα σε ξεχόνδρισμα και φινίρισμα, μετωπικό και πλευρικό, ομόρροπο και αντίρροπο, καθώς και διάτρηση, εξαντλώντας τις μηχανικές δυνατότητες της τριαξονικής CNC εργαλειομηχανής HAAS VF1 που διαθέτει το Μηχανουργείο του ΤΕΙ Κρήτης στο Παράρτημα Χανίων.

ABSTRACT

This thesis presents the investigation of operating and programming a modern CNC machine for the optimization of the numerical control in manufacturing dealing with material removal. The CNC machine used is the VF1 of the HAAS Co. The main technical features of the machine are: the lengths of paths: 514 mm in the X axis, 410 mm in the Y-axis and 510 mm in the Z axis, Machine Power of 20 HP, Memory capacity of 1 MB and the tools storage mill with capacity of 20 cutting tools.

The operation of the machine is based on the use of **Numerical Control**, with a **Computer**. This type of control uses numerical values with reference to the location and movement of the axes of the machine and more specifically the codes **G & M**. G & M codes are sequences and combinations of standard commands, movement operations and auxiliary functions, respectively.

To implement this work, engineering construction projects and designs were selected, in order to study the most of the important sources of G and M codes and to explore the capabilities of the machine in various manufacturing work circles.

The evaluation of the final products and the manufacturing processes, led to important conclusions for the proper function of the CNC and the codes used in manufacturing processes of milling in roughing and finishing, front and side, uni- and counter- directional and drilling, expending the mechanical features of the three-axis CNC machine HAAS VF1 of the Machine Shop of the Technological Educational Institute of Crete at the Branch of Chania.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο σκοπός υλοποίησης της συγκεκριμένης εργασίας είναι η διερεύνηση του προγραμματισμού λειτουργίας της σύγχρονης εργαλειομηχανής CNC με στόχο τη βέλτιστη ψηφιακή καθοδήγησή της σε κατεργασίες με αφαίρεση υλικού.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία υλοποιήθηκε στο εργαστήριο Σχεδιομελέτης και Κατεργασιών, στον Τομέα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του Τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, στο Παράρτημα Χανίων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης και συγκεκριμένα στο χώρο του Μηχανουργείου.

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη των εργαλειομηχανών και οι δυνατότητές τους. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα εργοστασιακά χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες της εργαλειομηχανής HAAS VF1 που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας. Ακολουθεί το Κεφάλαιο 3 όπου αναλύεται η ψηφιακή καθοδήγηση των κατεργασιών με τη βοήθεια προγραμματισμού. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται ο μηχανολογικός σχεδιασμός και ο προγραμματισμός των κύκλων κατεργασιών σε οκτώ χαρακτηριστικά δοκίμια που περιλαμβάνουν όλες τις δυνατές χρήσεις σε κατεργασία κοπής της μηχανής. Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που προέκυψαν με την ολοκλήρωση της εργασίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εργαλειομηχανές

Τα πρώτα μηχανικά εργαλεία πιστεύεται ότι αναπτύχθηκαν πριν από 5000 χρόνια. Αυτές οι συσκευές επέτρεπαν στον άνθρωπο να παράγει σχέδια από ξύλο και άλλα σκληρά υλικά όπως πέτρα και σίδηρο. Τον 14ο αιώνα κατασκευάστηκαν οι πρώτες μηχανές ακριβείας όπως ο τόνος κατεργασίας μετάλλων παραλλαγές του οποίου παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.

Τον 20^ο αιώνα οι εργαλειομηχανές αυτοματοποιήθηκαν περισσότερο μειώνοντας έτσι την επέμβαση του ανθρώπου – χειριστή στη διαδικασία της κατεργασίας. Όμως, καθώς η αυτοματοποίηση αυξήθηκε, οι μηχανές έγιναν πιο εξειδικευμένες. Μέχρι πρόσφατα, πρωτότυπα και εξαρτήματα μικρού όγκου, παράγονταν από χειροκίνητα συμβατικά εργαλεία. Με την εμφάνιση σκληρών προς τη μηχανή υλικών και τις απαιτήσεις για μεγάλη ακρίβεια, ακόμα και οι καλύτεροι χειριστές φτάσανε στο όριο των ικανοτήτων τους. Αυτές οι απαιτήσεις, οδήγησαν σε μια μορφή αυτόματης μηχανής γνωστής με το όνομα **Numerical Control**, δηλαδή Αριθμητικός Έλεγχος.



Εικόνα 1. Οι πρώτες εργαλειομηχανές.

Η εξέλιξη του αριθμητικού ελέγχου στις Κατασκευαστικές Τεχνολογίες, στηρίζεται σε βασικές αρχές, που αναπτύχθηκαν πολλούς αιώνες πριν. Αρχικές προσπάθειες έχουν καταγραφεί στην Κίνα και στην Ελλάδα, με αντιπροσωπευτικότερη τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων, ο οποίος χρησιμοποιούνταν πιθανών για αστρονομικούς και ημερολογιακούς υπολογισμούς. Ο σύγχρονος αριθμητικός έλεγχος

των εργαλειομηχανών ξεκίνησε, όταν κατά τη διάρκεια του πόλεμου με τους Ιάπωνες στον Ειρηνικό Ωκεανό, η Αμερικανική πολεμική αεροπορία είχε εξαιρετικά μεγάλες απώλειες. Η ταχεία παραγωγή και επισκευή αεροσκαφών και ανταλλακτικών στάθηκε πραγματικός πονοκέφαλος για τους μηχανικούς της αεροπορικής βιομηχανίας. Έτσι, πέρα από τη μειωμένη παραγωγική ικανότητα των συμβατικών εργαλειομηχανών, η συνεχής παραγωγή χωρίς συντήρηση και η κόπωση των τεχνιτών οδηγούσε, συχνά, σε ελαττωματικά και επικίνδυνα τεμάχια. Επίσης οι απαιτήσεις της βιομηχανίας για ακόμα πιο σύνθετα τεμάχια, δεν μπορούσαν να καλυφθούν από τα συμβατικά μηχανουργεία[1-4].



Εικόνα 2. Η πρώτη NC από το MIT.

Το 1949 η αεροπορία των ΗΠΑ ανέθεσε στο εργαστήριο σερβομηχανισμών στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας στη Μασαχουσέτης (MIT) να αναπτύξει ένα εφαρμόσιμο NC σύστημα (Εικόνα 2). Μέχρι το 1957 οι πρώτες πετυχημένες εγκαταστάσεις NC χρησιμοποιήθηκαν στην παραγωγή όμως πολλοί χρήστες αντιμετώπιζαν δυσκολίες στο να παράγουν τμηματικά προγράμματα για εισαγωγή στο μηχανικό ελεγκτή. Για να αντιμετωπίσει την κατάσταση το Ινστιτούτο Τεχνολογίας, ξεκίνησε την ανάπτυξη τμηματικής γλώσσας προγραμματισμού, βασισμένη στους Η/Υ με την ονομασία APT (Advanced Packaging Tool) δηλ. αυτόματος προγραμματισμός εργαλείων. Ο σκοπός ήταν να επινοήσουν μια συμβολική γλώσσα που θα καθιστούσε τον προγραμματιστή τμημάτων ικανό να συγκεκριμενοποιήσει μαθηματικές σχέσεις. Ένα χαρακτηριστικό κομμάτι που φτιαχτέ με την τεχνολογία εκείνης της εποχής είναι ένα τασάκι, που μοιράστηκε σε όλους τους παρευρισκόμενους στα πλαίσια επίδειξης της APT που έκανε

το Εργαστήριο Σερβομηχανισμών του MIT το 1959. Το 1962 το πρώτο σύστημα προγραμματισμού APT εξεδόθη για γενικές βιομηχανικές εφαρμογές. Η μηχανολογική ανάπτυξη επικεντρώθηκε σε βελτιωμένα συστήματα ελέγχου και εργαλειομηχανών. Πολύπλοκες μηχανές NC και συστήματα ελέγχου ήταν διαθέσιμα μέχρι το 1965 για κάθε σημαντική διαμόρφωση μηχανικού εργαλείου. Η ανάπτυξη λογισμικού επικεντρώθηκε σε βελτιώσεις της γλώσσας APT όπως επίσης και στην παραγωγή άλλων συστημάτων προγραμματισμού NC [1,2].

Μια αλλαγή στη γενική φιλοσοφία ξεκίνησε το 1970 και ο αριθμητικός έλεγχος θεωρήθηκε τότε ως μέρος ενός ευρύτερου σχεδίου CAM (Computer Aided Manufacturing) δηλαδή παραγωγής με τη βοήθεια Η/Υ [6]. Η τεχνολογία CAM περιλαμβάνει εκτός από αριθμητικό έλεγχο και έλεγχο παραγωγής παρακολούθηση, διαχείριση υλικών και προγραμματισμό. Η έμφαση στη χρήση Η/Υ στη διαδικασία παραγωγής έχει παράγει νέες μορφές αριθμητικού ελέγχου: CNC (Computer Numerical Control) δηλαδή αριθμητικού ελέγχου μέσω Η/Υ και DNC (Direct Numerical Control) δηλαδή άμεσου αριθμητικού ελέγχου. Ο αριθμητικός έλεγχος συνεχίζει να αναπτύσσεται και λειτουργίες κατεργασιών που θεωρούνταν κάποτε επιστημονική φαντασία είναι τώρα στόχοι εφικτοί. Παράλληλα οι μηχανές γίνονται μεγαλύτερες με ολοένα και περισσότερες δυνατότητες[3] (π.χ. βλ. Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Υπερσύγχρονο Κέντρο κατεργασίας CNC 5 αξόνων.

Ο κώδικας που χρησιμοποιείται και σήμερα στις εργαλειομηχανές CNC ονομάζεται κώδικας **G** και η μελέτη αυτού, καθώς και του συμπληρωματικού του κώδικα **M**, αποτελεί το κεντρικό αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας.

Η συνεργασία των μηχανουργικών κατεργασιών με NC, CNC και DNC μηχανές με άλλες λειτουργίες που υποστηρίζονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή, οδήγησαν στη δημιουργία των ολοκληρωμένων με υπολογιστή συστημάτων παραγωγής (CIM). Έτσι, από τη σύλληψη ενός νέου προϊόντος, αυτό σχεδιάζεται, εξελίσσεται και βελτιστοποιείται μέσω των συστημάτων ανάπτυξης CAE (Computer Aided Engineering), που περιλαμβάνουν συστήματα σχεδίασης μέσω H/Y CAD (Computer Aided Design) και προγράμματα υπολογισμών αντοχής με τη χρήση της μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων, FEM (Finite Element Method) που αποτελεί υπολογιστική μέθοδο στατικής και δυναμικής ανάλυσης κατασκευών και μοντελοποίησης προβλημάτων και φυσικών φαινομένων). Κατόπιν, ο προγραμματισμός των κατεργασιών γίνεται σε συστήματα CAM, λαμβάνοντας υπόψη τεχνολογικές παραμέτρους των κατεργασιών αυτών [8].

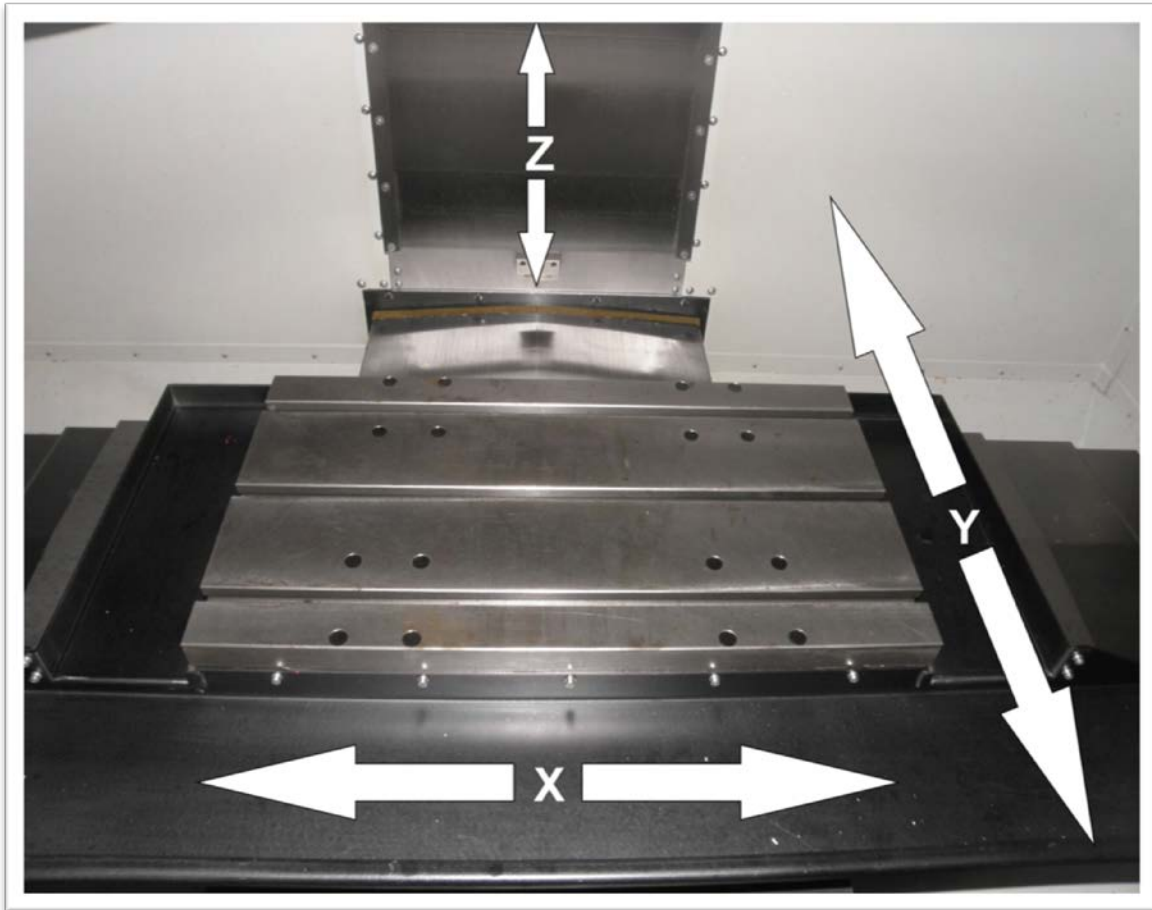
Τα σύγχρονα μηχανουργεία εντάσσουν τις NC, CNC και DNC εργαλειομηχανές σε ακόμα πιο σύνθετες δομές, που ονομάζονται ευέλικτα συστήματα παραγωγής FMS (flexible manufacturing system). Τα συστήματα αυτά ενσωματώνουν ηλεκτρονικό σχεδιασμό της παραγωγής, αυτόματες μεταφορικές διατάξεις και αποθήκες, βιομηχανικά ρομπότ και διατάξεις ποιοτικού ελέγχου. Όλα αυτά καθοδηγούνται και εποπτεύονται από έμπειρους μηχανικούς και τεχνικούς, με τη βοήθεια δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών. Με τον τρόπο αυτό, η σύγχρονη παραγωγή μετατρέπεται από σπαζοκεφαλιά σε ελεγχόμενη και απλοποιημένη διαδικασία. Η χρήση της τεχνολογίας λογισμικού και υπολογιστών, με στοιχεία τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence), οδηγεί στην πρώιμη έννοια του αυτόματου εργοστασίου, στο οποίο η συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα στη λήψη αποφάσεων και στην καθοδήγηση μειώνεται ακόμα περισσότερο[1,2].

2. Εργοστασιακά τεχνικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες της εργαλειομηχανής HAAS VF1

Καθοριστική σημασία στις παραμέτρους προγραμματισμού καθοδήγησης των CNC εργαλειομηχανών έχουν τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους. Οι τεχνικές τους λεπτομέρειες (hardware specifications) προσδιορίζουν τις δυνατότητες λειτουργίας τους, άρα και τον τρόπο προγραμματισμού αυτών για την ψηφιακά καθοδηγούμενη επιθυμητή κατεργασία που θα υλοποιηθεί.

2.1 Χώρος κατεργασιών

Η CNC εργαλειομηχανή VF1 της εταιρίας HAAS έχει ως κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά τα μήκη των διαδρομών της με εύρος τα 514mm στον οριζόντιο άξονα X, τα 410mm στον άξονα Y, και τα 510mm στον κάθετο στο επίπεδο-XY άξονα Z. Η τράπεζα κατεργασίας που εκτελεί κινήσεις στο επίπεδο XY, παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4. Τράπεζα κατεργασίας.

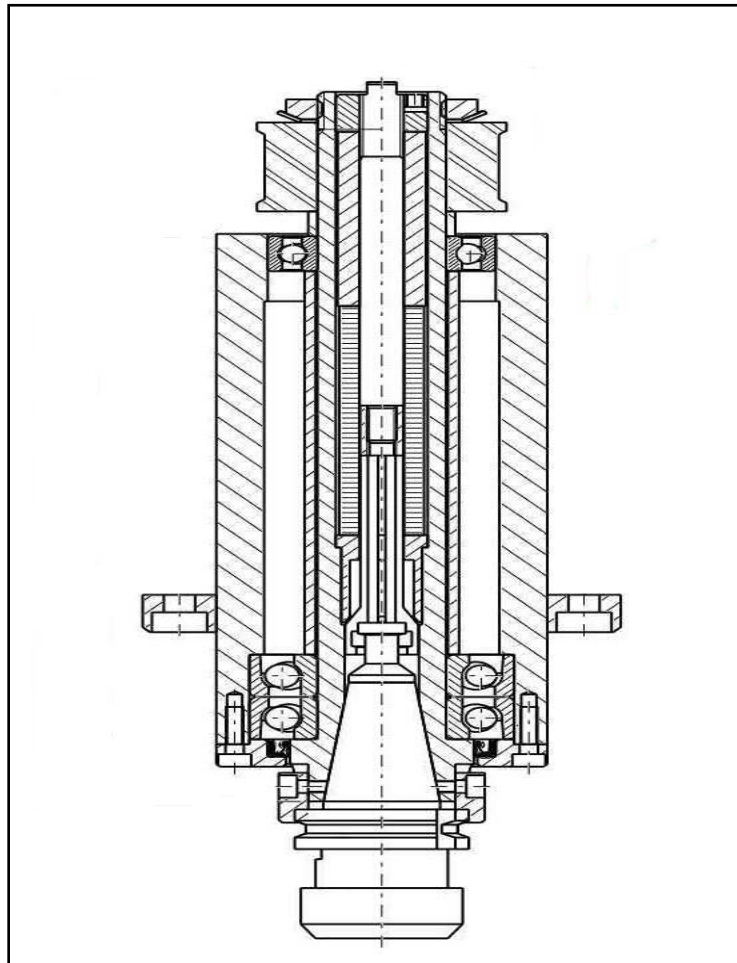
Η τράπεζα κατεργασίας διαθέτει ειδικούς οδηγούς (αύλακες) συγκράτησης στους οποίους πακτώνονται (δένονται) τα προς κατεργασία κομμάτια. Στην Εικόνα 4. παρουσιάζεται η τράπεζα κατεργασίας με διαστάσεις 660mm x 355mm στους άξονες X και Y αντίστοιχα. Η κίνηση της τράπεζας γίνεται με σερβοκινητήρες που μετακινούν τις οριζόντιες και κάθετες γλίστρες που διακρίνονται στην ίδια Εικόνα. Η τράπεζα διαθέτει τρεις χαρακτηριστικές αύλακες συγκράτησης, διαστάσεων 16mm που χρησιμεύουν για την τοποθέτηση ειδικών συστημάτων συγκράτησης και πάκτωσης των προς κατεργασία τεμαχίων.

Η συνδυασμένη κίνηση στους άξονες που προκύπτει από την κίνηση της κάθε γλίστρας γίνεται με ακρίβεια που φτάνει το 1 μ m. Η ισχύς της VF1 είναι της τάξεως των 20HP και η ταχύτητα κίνησης των γλιστρών φτάνει τα 25,4m/sec [5].

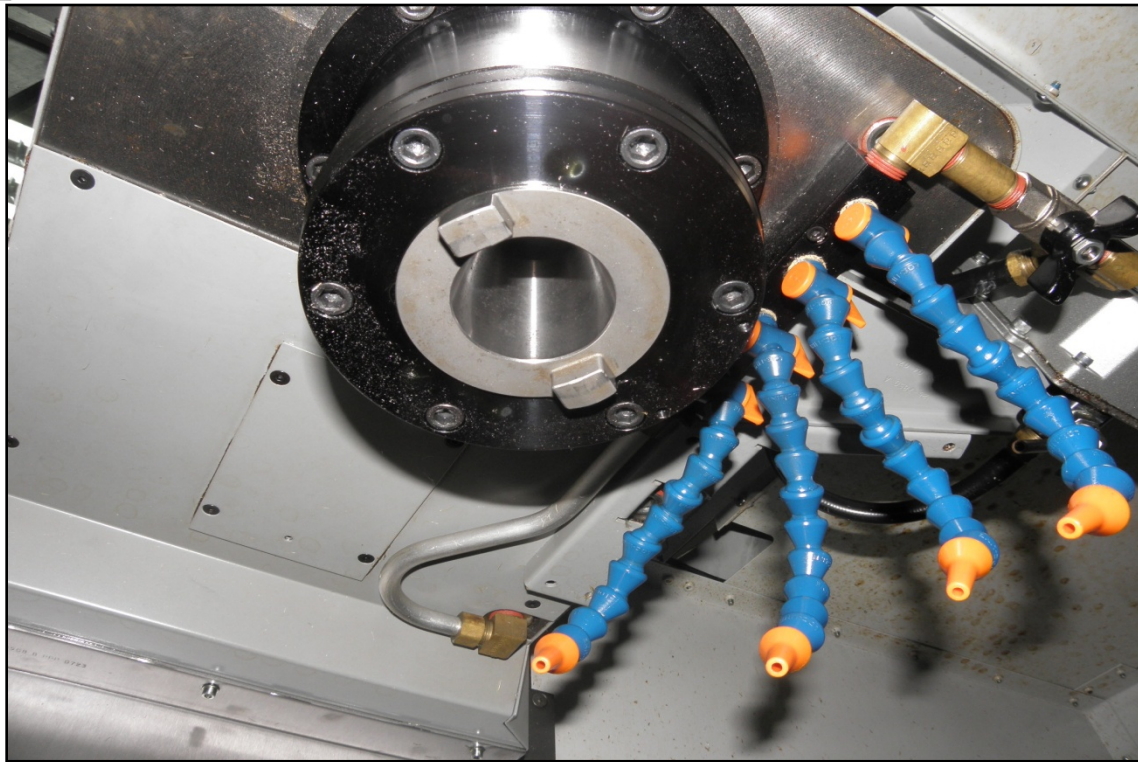
2.2 Η άτρακτος

Η διασύνδεση της μηχανής με τους κώνους που φέρουν τα κοπτικά εργαλεία πραγματοποιείται από την άτρακτο η οποία περιστρέφει με ταχύτητες που καθορίζει ο χρήστης. Η περιστροφή της άτρακτος κυμαίνεται από 5 έως 7500 περιστροφές το λεπτό (rpm). Ο κώνος προσαρμόζεται στην άτρακτο με πνευματικό σύστημα συγκράτησης. Η άτρακτος μπορεί να κινηθεί μόνο κατά τον άξονα Z μαζί με ολόκληρο το σύστημα

κίνησής της (κινητήρας). Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται το μηχανολογικό σχέδιο τομής της ατράκτου, στην οποία διακρίνεται προσαρμοσμένος κώνος και ακολουθεί η παρουσίαση της ατράκτου της VF1 στην εικόνα 6.



Εικόνα 5. Τομή συστήματος ατράκτου.



Εικόνα 6. Άτρακτος CNC VF1.

2.3 Σύστημα συγκράτησης και εναλλαγής εργαλείων

Η εργαλειομηχανή είναι συμβατή με κώνους κατηγορίας ISO 40. Η κατηγορία αυτή είναι η πιο διαδεδομένη και περιλαμβάνει κώνους που φέρουν συστολικούς σφικτήρες (collets), τσοκ για τρυπάνια και κώνους για φρεζοκεφαλές. Στην Εικόνα 7 περιγράφεται σε έξι βήματα η διαδικασία συγκράτησης του κοπτικού εργαλείου στον κώνο.



Εικόνα 7. (α) Τα μέρη του κώνου και κοπτικό εργαλείο (β) Μέγγενη κώνων αλλαγής αργαλειών (γ) Τοποθέτηση κώνου στη μέγγενη (δ) Εφαρμογή collet στον δακτύλιο σύσφιξης (ε) Εφαρμογή του δακτυλίου με το collet στον κώνο και (στ) Σύσφιξη εργαλείου με κώνο.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία συναρμολόγησης, συγκράτησης και σύσφιξης του κοπτικού εργαλείου στον κώνο, ο κώνος με το κοπτικό τοποθετείται στην άτρακτο της εργαλειομηχανής, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 8 που ακολουθεί.



Εικόνα 8. (α) Ολοκληρωμένη εικόνα κώνου με εργαλείο **(β)** Τοποθέτηση κώνου στην εργαλειομηχανή.

Αφού ολοκληρωθεί η συναρμολόγηση και σύσφιξη του κοπτικού εργαλείου στον κώνο, ακολουθεί η προσαρμογή του κώνου με το κοπτικό εργαλείο στη φωλιά της άτρακτου. Ο χειριστής τοποθετεί τον κώνο μέσα στη φωλιά, μέχρι ο κώνος να ακουμπήσει στο τέλος της και ακολούθως πιέζεται το πλήκτρο tool release. Απελευθερώνοντας το πλήκτρο, ο κώνος κουμπώνει στην άτρακτο. Μεγάλη προσοχή απαιτείται στη σωστή εφαρμογή των εγκοπών του κώνου με την άτρακτο.

Για την επίτευξη των διάφορων κατεργασιών με εναλλαγές κοπτικών εργαλείων η VF1 διαθέτει εργαλειοφορέα (ή μύλο) απόθεσης εργαλείων που μπορεί να υποστηρίξει 20 κώνους με τα αντίστοιχα κοπτικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια ενός προγραμματισμένου κύκλου κατεργασίας. Ο μύλος της VF1 και οι θέσεις εναπόθεσης αυτού παρουσιάζονται στην Εικόνα 9α και 9β.



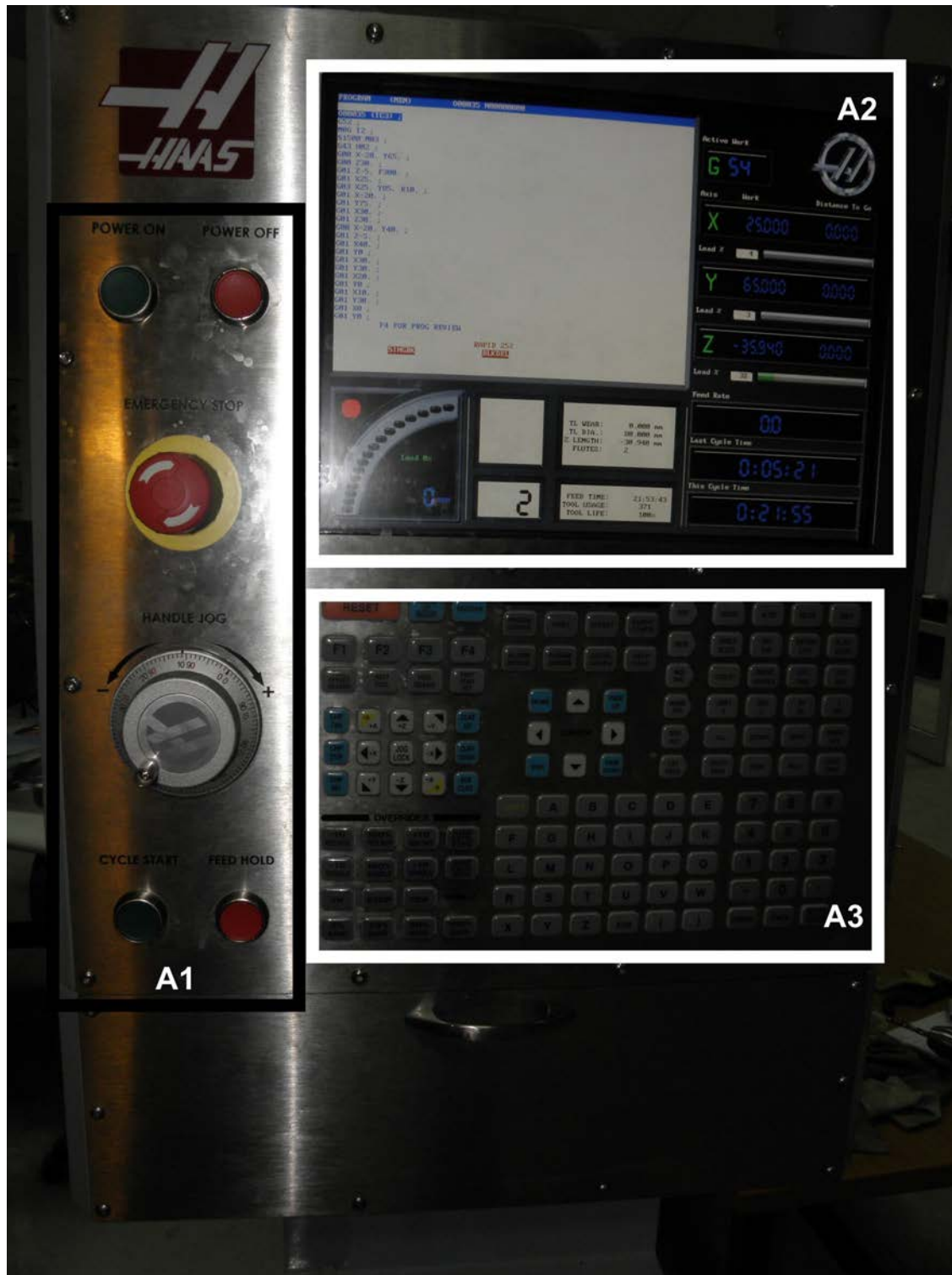
Εικόνα 9. Μύλος ή εργαλειοφορέας: **(α)** Σύστημα εναπόθεσης κώνων **(β)** τοποθέτηση τεσσάρων κώνων με κοπτικά στις θέσεις 2 έως 6.

Η θέση 1 του εργαλειοφορέα κρατείται συνήθως ελεύθερη, για τη χρήση από το Taster που όπως θα δούμε παρακάτω χρησιμοποιείται για το μηδενισμό των προς κατεργασία τεμαχίων.

2.4 ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ – Control Panel

Τον εγκέφαλο της εργαλειομηχανής αποτελεί ο πίνακας χειρισμού (control panel) που παρουσιάζεται στην Εικόνα 10. Μέσω αυτού πραγματοποιείται η

επικοινωνία του χειριστή με τη μηχανή. Το panel αποτελείται από LCD οθόνη και αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο. Το αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο χωρίζεται σε οχτώ βασικές περιοχές, E1 έως E8, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10. Το Control Panel της VF1.

Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται ο πίνακας χειρισμού της εργαλειομηχανής. Διακρίνονται τρεις κύριες περιοχές A1, A2 και A3 λειτουργιών. Η πρώτη περιοχή, A1 περιλαμβάνει τα βασικά κομβία λειτουργίας της εργαλειομηχανής τα οποία είναι τοποθετημένα στο αριστερό μέρος του πίνακα χειρισμού. Η A2 περιλαμβάνει την οθόνη LCD που χρησιμοποιείται για τη έξοδο και προβολή δεδομένων από τη μηχανή στο χρήστη. Τέλος, το αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο βρίσκεται στο κάτω μέρος του πίνακα χειρισμού στην περιοχή A3.

Τα βασικά κομβία λειτουργίας της εργαλειομηχανής περιλαμβάνουν το Power On που χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση της μηχανής, το Power Off που χρησιμοποιείται για την απενεργοποίηση της μηχανής, το Emergency Stop το οποίο επιλέγεται για την απενεργοποίηση όλων των λειτουργιών της μηχανής, το Handle Jog το οποίο είναι βαθμονομημένο περιστροφικό χειριστήριο (Βερνιέρος) της μηχανής και χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση των αξόνων, με ακρίβεια και ταχύτητα που επιλέγει ο χειριστής. Ακόμη να χρησιμοποιηθεί και σαν joystick στο περιβάλλον προγραμματισμού της μηχανής. Το κομβίον Cycle Start ενεργοποιεί τις εντολές του εκάστοτε προγράμματος για την έναρξη της κατεργασίας. Τέλος το Feed Hold απενεργοποιεί την κίνηση όλων των αξόνων, χωρίς όμως να σταματάει την περιστροφική κίνηση της ατράκτου.

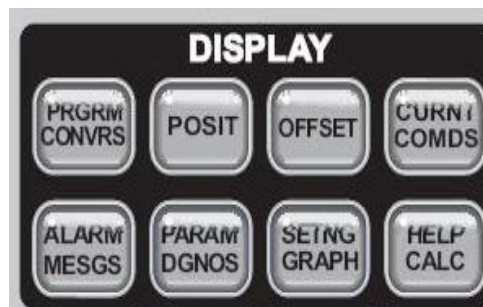
Το αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο περιλαμβάνει 8 σημαντικές υπό-περιοχές, E1 έως E8 που παρουσιάζονται στην Εικόνα 11, στις οποίες κατανέμονται οι εντολές και το πληκτρολόγιο εισαγωγής κώδικα στον επεξεργαστή τις μηχανής. Κάθε μια από αυτές τις 8 ενότητες, έχει συσταθεί με βάση τις λειτουργίες που πραγματοποιούν τα πλήκτρα που εμπεριέχει. Ο προγραμματισμός της ψηφιακής καθοδήγησης υλοποιείται με τη βοήθεια του πληκτρολογίου. Κάθε δράση σε αυτό οδηγεί σε ανάδραση που απεικονίζεται στην LCD οθόνη του Panel χειρισμού. Δεδομένης της σημασίας του κάθε πλήκτρου του πληκτρολογίου, που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη λειτουργία, συγγραφή και έλεγχο του G και M κώδικα που υλοποιούνται με αυτό, ακολουθεί η παράθεση της χρήσης των πλήκτρων του καθώς και οι επιμέρους εικόνες 11 έως 19 αυτών.



Εικόνα 11. Ενότητα πληκτρολογίου E1.

- E1.** Αναφέρεται στους 6 τρόπους με τους οποίους μπορεί να δουλέψει η μηχανή:
- a. **EDIT:** Εντολή που χρησιμοποιείται για την διόρθωση ενός προγράμματος στη μνήμη.
 - i. **INSERT:** Εισαγωγή στοιχείου μέσα σε μια πρόταση του G-κώδικα.
 - ii. **ALTER:** Αλλαγή στοιχείου με κάποιο άλλο μέσα στο πρόγραμμα.
 - iii. **DELETE:** Διαγραφή στοιχείων μέσα από το πρόγραμμα.
 - iv. **UNDO:** Επιστροφή μέχρι και εννέα πληκτρολογήσεις σε περίπτωση λανθασμένης επιλογής ή πληκτρολόγησης.
 - b. **MEM:** Ενεργοποιεί το πρόγραμμα που υπάρχει ήδη στη μνήμη.
 - i. **SINGLE BLOCK:** Αναγνωρίζει και επεξεργάζεται το πρόγραμμα πρόταση προς πρόταση πραγματοποιώντας την διαδικασία βήμα προς βήμα.
 - ii. **DRY RUN:** Ελέγχονται οι κινήσεις της μηχανής χωρίς να πραγματοποιηθεί κοπή. Οι προγραμματισμένες προώσεις αντικαθίστανται από την επιλογή στο Handjog.
 - c. **MDI/DNC:** Ενεργοποιεί κατευθείαν την εντολή που δόθηκε χειροκίνητα ή ενεργοποιεί ένα πρόγραμμα προερχόμενο από υπολογιστή συνδεδεμένο με την εργαλειομηχανή.
 - i. **COOLNT:** Ενεργοποιεί – απενεργοποιεί την αντλία ψυκτικού υγρού.
 - ii. **ORIENT SPINDLE:** Προσανατολίζει και σταθεροποιεί την άτρακτο όπως στην αλλαγή εργαλείου.
 - iii. **ATCFWD:** Περιστρέφει τον εργαλειοφορέα ωρολογιακά με αποτέλεσμα να τοποθετηθεί στην άτρακτο το επιθυμητό εργαλείο .

- iv. **ATCREV:** Πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία με την εντολή ATCFWD με την διαφορά πως κινείται με αντιστροφή φορά.
- d. **HANDJOG:** Πραγματοποιείται χειροκίνητη λειτουργία της εργαλειομηχανής με επιθυμητή ταχύτητα.
 - i. **.1:** Ρυθμίζει χειροκίνητα την ακρίβεια της πρόωσης στον άξονα που έχει προ-επιλεχθεί με ακρίβεια 1mm.
 - ii. **.01:** Ρυθμίζει χειροκίνητα την ακρίβεια της πρόωσης στον άξονα που έχει προ-επιλεχθεί με ακρίβεια 0.1mm.
 - iii. **.001:** Ρυθμίζει χειροκίνητα την ακρίβεια της πρόωσης στον άξονα που έχει προ-επιλεχθεί με ακρίβεια 0.01mm.
 - iv. **.0001:** Ρυθμίζει χειροκίνητα την ακρίβεια της πρόωσης στον άξονα που έχει προ-επιλεχθεί με ακρίβεια 0.001mm.
- e. **ZEROSÉT:** Η τράπεζα κατεργασίας επιστρέφει στα σημεία αναφοράς της μηχανής.
 - i. **ALL:** Μηδενίζει όλους τους άξονες.
 - ii. **ORIGIN:** Μηδενίζει διάφορα στοιχεία σε πολλές επιλογές (π.χ. όλα τα offset των εργαλείων , αριθμό κομματιών κλπ.).
 - iii. **SINGLE:** Μηδενίζει μόνο τον άξονα που έχει ήδη επιλεχθεί.
 - iv. **HOME G28:** Μετακινεί όλους τους άξονες στα αρχικά μηδέν της μηχανής ή μόνο αυτόν που έχει επιλεγεί από τον χειριστή.
- f. **LISTPROG:** Επιλέγει και ενεργοποιεί το πρόγραμμα από τη μνήμη είτε από την μηχανή είτε από τον υπολογιστή από τη λίστα αποθηκευμένων στη μνήμη προγραμμάτων.
 - i. **SELECT PROG:** Επιλογή προγράμματος από την λίστα.
 - ii. **SEND:** Στέλνει το επιλεγμένο πρόγραμμα είτε στη μνήμη της μηχανής είτε σε συσκευή αποθήκευσης.
 - iii. **RECV:** Πραγματοποιείται η λήψη του προγράμματος που έχει επιλεγεί από τη συσκευή αποθήκευσης.
 - iv. **ERASE PROG:** Διαγράφει το επιλεγμένο πρόγραμμα.



Εικόνα 12. Ενότητα ηλεκτρολογίου E2.

E2. DISPLAY: Η ενότητα E2 αποτελείται από 8 πλήκτρα που βρίσκονται στο κέντρο του πίνακα και δίνουν πρόσβαση σε θόνες με πληροφορίες και βοήθεια για το χειριστή.

- a. **PRGRM/CONVRs:** Εμφανίζει το επεξεργάσιμο πρόγραμμα. Επίσης χρησιμοποιείται από την εφαρμογή QuickCode.

- b. **POSIT:** Επιλέγοντας την συγκεκριμένη εντολή εμφανίζονται τα σημεία που βρίσκονται οι άξονες.
- c. **OFFSET:** Με την συγκεκριμένη επιλογή υπάρχει δυνατότητα αλλαγής των offset των εργαλείων και του κομματιού.
- d. **CURNT COMDS:** Ενεργοποιώντας την συγκεκριμένη εντολή εμφανίζεται στην οθόνη το επεξεργάσιμο πρόγραμμα καθώς και ο χρόνος που επεξεργάστηκε. Με το πλήκτρο PAGEDOWN, εμφανίζονται οι χρόνοι συστήματος, οι μακροεντολές και οι πληροφορίες για τα εργαλεία.
- e. **ALARM MESSAGES:** Δημιουργεί αναφορά στα μηνύματα σφαλμάτων. Πατώντας τον αριστερό ή το δεξί κέρσορα, παρουσιάζει το ιστορικό των σφαλμάτων.
- f. **PARAM DGNOS:** Με την συγκεκριμένη εντολή υπάρχει δυνατότητα αλλαγής στις παραμέτρους του μηχανήματος.
- g. **SETNG GRAPH:** Εμφανίζει διάφορες επιλογές για αλλαγές στο περιβάλλον του χρήστη. Εάν ξανά επιλεγθεί εμφανίζει με γραφικά το επεξεργάσιμο πρόγραμμα.
- h. **HELP CALC:** Εμφανίζει διάφορες πληροφορίες σε διάφορα χαρακτηριστικά και στον τρόπο λειτουργίας του μηχανήματος, καθώς επίσης μπορεί να πραγματοποιήσει και διάφορες τριγωνομετρικές πράξεις.



Εικόνα 13. Ενότητα πληκτρολογίου E3.

E3. CURSOR: Οι κέρσορες βρίσκονται στο κέντρο του πίνακα ελέγχου. Με τη βοήθειά τους γίνεται η μετάβαση από ένα μπλοκ του προγράμματος στο άλλο κατά την επεξεργασία του. Τα πλήκτρα HOME, PAGE UP, END, PAGE DOWN έχουν αντίστοιχη χρήση για τη μετάβαση στην αρχή, το τέλος, την επόμενη ή προηγούμενη σελίδα του κώδικα.



Εικόνα 14. Ενότητα πληκτρολογίου E4.

E4. JOG: Τα πλήκτρα JOG χρησιμοποιούνται για βοηθητικές λειτουργίες όπως εκκίνηση ή παύση του γρεζομεταφορέα και της αντλίας του ψυκτικού υγρού.

- a. **CHIPFWD:** Κίνηση του γρεζομεταφορέα προς τα έξω.
- b. **CHIPSTOP:** Παύση κίνησης του γρεζομεταφορέα.
- c. **CHIPREV:** Κίνηση του γρεζομεταφορέα προς τα μέσα.
- d. **X/-X ... B/-B:** Ενεργοποίηση χειροκίνητης κίνησης κατά τον άξονα X/-X ... B/-B
- e. **JOG LOCK:** Εμπλέκει την κίνηση κάθε άξονα μέχρι το τέλος της ή μέχρι να ξαναεπικαλεσθεί.
- f. **CLNT UP:** Στρέφει το ακροφύσιο ψύξης προς τα επάνω.
- g. **CLNT DOWN:** Στρέφει το ακροφύσιο ψύξης προς τα κάτω.
- h. **AUX CLNT:** Αλλάζει το σύστημα ψύξης από συμβατικό (με τα ακροφύσια) σε ψύξη μέσω της ατράκτου και αντίστροφα.



Εικόνα 15. Ενότητα πληκτρολογίου E5.

E5. RESET: Εντολές διακοπής, παύσης και επανάκτησης της λειτουργίας της εργαλειομηχανής.

- a. **RESET:** Πραγματοποιείται η παύση της εργασίας και η επιστροφή του προγράμματος στην αρχή.

- b. **POWERUP/ RESTART:** Πραγματοποιείται η τοποθέτηση των αρχικών τιμών στη μηχανή. Οριοθετεί τον εργαλειοφορέα στο σημείο μηδέν και σε εργάσιμη θέση έρχεται το πρώτο εργαλείο.
- c. **RECOVER:** Επαναφέρει τον εργαλειοφορέα στην αρχική του θέση μετά από απότομη διακοπή.
- d. **FUNCTION F1 - F4:** Χρησιμοποιείται για διορθώσεις, γραφικά, και για βοήθεια στην αριθμομηχανή.
- e. **TOOL OFFSET MEASURE:** Καλυμπράρεται το μήκος του κοπτικού εργαλείου κατά τη διάρκεια του μηδενισμού του τεμαχίου.
- f. **NEXT TOOL:** Ενεργοποιώντας την συγκεκριμένη εντολή πραγματοποιείται η αλλαγή εργαλείου κατά τις ρυθμίσεις.
- g. **TOOL RELEASE:** Απεμπλοκή κοπτικού εργαλείου από την άτρακτο κατά τη διάρκεια λειτουργίας του MDI ή του HANDJOG.
- h. **PART ZERO SET:** Επιτρέπει τον μηδενισμό ενός τεμαχίου σε κάθε άξονα.



Εικόνα 16. Ενότητα πληκτρολογίου E6.

E6. OVERRIDES: ΠΛΗΚΤΡΑ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ: Χρησιμοποιούνται για την αύξηση ή την μείωση στροφών, πρόωσης και ταχύτητας της γρήγορης κίνησης.

- a. **FEEDRATE -10:** Μειώνει την πρόωση (G01) κατά 10% .Στο συγκεκριμένο σημείο σημειώνεται πως υπάρχει δυνατότητα μείωσης από 10% έως και 200%.
- b. **FEEDRATE 100%:** Πραγματοποιείται η επεξεργασία με κανονική πρόωση.
- c. **SPINDLE -10:** Μειώνει τις στροφές κατά 10% .Στο συγκεκριμένο σημείο σημειώνεται πως υπάρχει δυνατότητα μείωσης από 10% έως και 150%.
- d. **SPINDLE 100%:** Πραγματοποιείται η επεξεργασία με κανονικές στροφές.
- e. **SPINDLE +10:** Αυξάνει τις στροφές κατά 10% .Στο συγκεκριμένο σημείο σημειώνεται πως υπάρχει δυνατότητα μείωσης από 10% έως και 150%.
- f. **CW:** Έναρξη στροφών με ωρολογιακή φορά.
- g. **CCW:** Έναρξη στροφών με αντί-ωρολογιακή φορά.
- h. **STOP:** Πραγματοποιείται η παύση των στροφών.

- i. **5% / 25% / 50% / 100% Rapid:** Πραγματοποιείται μείωση γρήγορης κίνησης (G00) στο 5%, στο 25%, στο 50% και στο κανονικό (100%).
- j. **Hand Cntrl Feed:** Επιτρέπει το χειρισμό της πρόωσης από το βαθμονομημένο περιστροφικό χειριστήριο (βερνιέρο) της μηχανής με μετατόπιση $\pm 1\%$.
- k. **Hand Cntrl Spin:** Επιτρέπει το χειρισμό των στροφών της ατράκτου από το βαθμονομημένο περιστροφικό χειριστήριο (βερνιέρο) της μηχανής με μετατόπιση $\pm 1\%$.



Εικόνα 17. Ενότητα πληκτρολογίου E7.

E7. ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΑ ΠΛΗΚΤΡΑ: Περιέχουν τα 26 γράμματα του λατινικού αλφαβήτου μαζί με ειδικούς χαρακτήρες.

- a. **FEEDRATE -10:** Μειώνει την πρόωση (G01) κατά 10% .Στο συγκεκριμένο σημείο σημειώνεται πως υπάρχει δυνατότητα μείωσης από 10% έως και 200%.
- b. **SHIFT:** Επιλέγοντας το πλήκτρο SHIFT σε συνδυασμό με ένα γράμμα, εισάγουμε τον ειδικό χαρακτήρα του γράμματος αυτού.
- c. **EOB:** (EndOfBlock) Τέλος του μπλοκ (πρότασης). Εισάγει τον χαρακτήρα (;).
- d. **():** Ανάμεσα στις δυο παρενθέσεις, εισάγουμε σχόλια για το πρόγραμμα και δεν εκλαμβάνονται ως εντολές.
- e. **/:** Το χρησιμοποιούμε στην αρχή ενός μπλοκ, όταν δεν θέλουμε αυτό το μπλοκ να εκτελεστεί. Για να γίνει αυτό, πρέπει να είναι πατημένο το πλήκτρο BLOCKDELETE.
- f. **[]:** Χρησιμοποιώντας την συγκεκριμένη εντολή μπορεί να πραγματοποιηθεί εισαγωγή με παραμέτρους σε μακροεντολές.



Εικόνα 18. Ενότητα πληκτρολογίου E8.

E8. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΛΗΚΤΡΑ: Πλήκτρα εισαγωγής αριθμητικών τιμών και συμβόλων.

- a. **CANCEL:** Διαγράφει τον τελευταίο χαρακτήρα που έχει γραφτεί.
- b. **SPACE:** Χρησιμοποιείται για την εισαγωγή κενού στις προτάσεις.
- c. **WRITE / ENTER:** Εισάγει την πρόταση που έχει ήδη γραφτεί.
- d. **- , .+ # * ? % \$! & @:** Σύμβολα που χρησιμοποιούνται για πράξεις αριθμών, μακροεντολές και εισαγωγή σχόλιων.

Όλες οι λειτουργίες που αφορούν τη συγγραφή, επεξεργασία, έλεγχο και εκτέλεση των προγραμμάτων στη CNC, αποθηκεύονται σε θέσεις μνήμης που φέρει η μηχανή. Η χωρητικότητα της μνήμης που διαθέτει η HAAS VF1 είναι 1MB και στην περίπτωση που υπάρξει ανάγκη δίνεται η επιλογή επέκτασής της με την προσθήκη επιπλέον μνήμης στη μηχανή [3].

2.4 Σύστημα συλλογής και άντλησης ψυκτικού υγρού (σαπουνέλαιο).

Σημαντικό σύστημα υποστήριξης αποτελεί η αντλία ψυκτικού υγρού που παρέχει την απαιτούμενη ψύξη στο κοπτικό εργαλείο και το τεμάχιο με σκοπό την αποφυγή φθορών και παραμορφώσεων λόγω ανάπτυξης μεγάλων θερμοκρασιών εξαιτίας της τριβής. Η ισχύς της αντλίας ψυκτικού υγρού της εργαλειομηχανής είναι 600W και η παροχή της είναι 19,9 lt/min. Στην εικόνα 19 παρουσιάζεται η αντλία του ψυκτικού υγρού με τη δεξαμενή αποθήκευσής του.



Εικόνα 19. Αντλία ψυκτικού υγρού και δεξαμενή αποθήκευσης.

2.5 Πίνακας ηλεκτρολογικού - ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

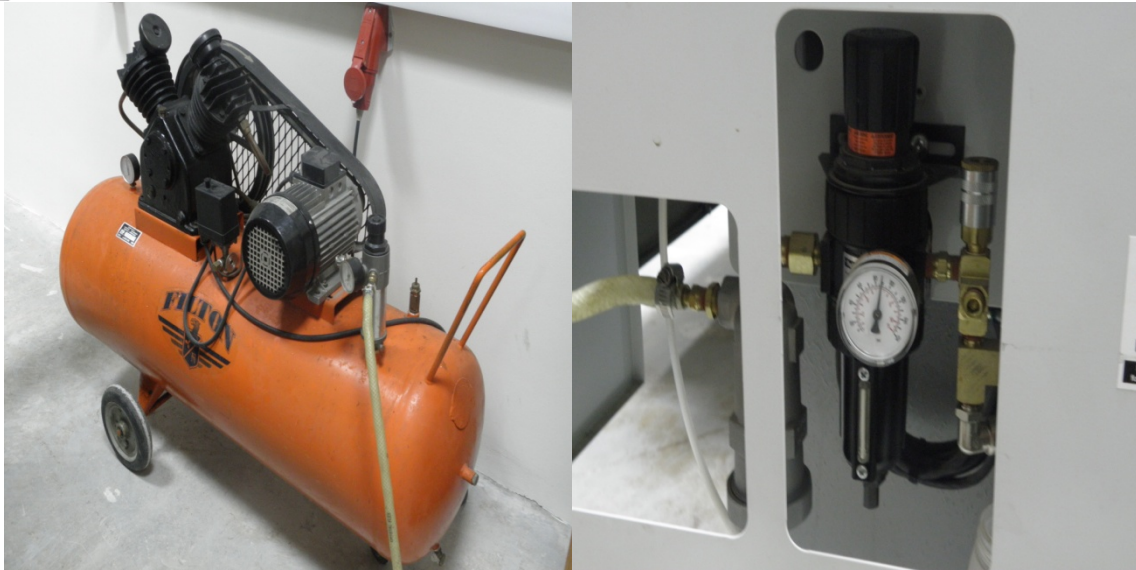
Η καρδιά του συστήματος και η πηγή ενέργειας για όλο τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της εργαλειομηχανής, από τους σερβοκινητήρες και τον κεντρικό κινητήρα της ατράκτου μέχρι τον φωτισμό της καμπίνας παρουσιάζεται στην εικόνα 20. Ο πίνακας περιλαμβάνει τα module των αξόνων, το inverter μετατροπής της AC τάσης σε DC, καθώς και τη μνήμη της εργαλειομηχανής [5].



Εικόνα 20. Πίνακας ηλεκτρολογικού - ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

2.6 Παροχή αέρα και ρυθμιστής πίεσης.

Βασικό εξοπλισμό της εργαλειομηχανής αποτελεί η παροχή αέρα, απαραίτητη για τη λειτουργία του ειδικού μηχανισμού συγκράτησης κώνων στην άτρακτο αλλά και για την παροχή αέρα στο πιστόλι καθαρισμού. Η τροφοδοσία γίνεται από συμπιεστή (κομπρεσέρ) χωρητικότητας 150lt και παροχής 200lt/min. Ο ρυθμιστής πίεσης (εικόνα 21) είναι ορισμένος στα 7bar πίεσης. Εάν η πίεση του αέρα μειωθεί, η εργαλειομηχανή αυτομάτως εμφανίζει ένδειξη ERROR και άμεσα σταματάει η λειτουργία της έως ότου επανέλθει η πίεση του αέρα στην απαιτούμενη τιμή.



Εικόνα 21. Συμπιεστής αέρα και ρυθμιστής πίεσης αέρα της εργαλειομηχανής.

2.7 Σύστημα αυτόματης λίπανσης οδηγών

Το συγκεκριμένο σύστημα είναι τοποθετημένο στο πίσω μέρος της εργαλειομηχανής αποσκοπώντας στην αυτόματη λίπανση των οδηγών της εργαλειομηχανής.



Εικόνα 22. Δεξαμενή αποθήκευσης και ρυθμιστής πίεσης λαδιού.

2.8 Θύρα USB και διακόπτης φωτισμού καμπίνας.

Η θύρα USB 2.0 είναι ένας σύγχρονος τρόπος εισαγωγής δεδομένων συμβατός με όλους τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, έτσι ώστε να πραγματοποιείται η μεταφορά δεδομένων στην εργαλειομηχανή από συμβατικό Η/Υ. Ακριβώς από κάτω είναι τοποθετημένος ο διακόπτης για τον φωτισμό του εσωτερικού χώρου της εργαλειομηχανής.



Εικόνα 23. Θύρα USB και διακόπτης φωτισμού.

Τα συστήματα που παρουσιάστηκαν είναι όλα απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία της μηχανής και αποτελούν τα απαραίτητα εργαλεία για τον προγραμματισμό και την καθοδήγηση της CNC στην εκτέλεση της οποιασδήποτε αριθμητικά καθοδηγούμενης κατεργασίας όπως θα παρουσιαστεί και στο Κεφάλαιο που ακολουθεί.

3. Ψηφιακή καθοδήγηση κατεργασιών με τη βοήθεια προγραμματισμού.

Καθοριστική σημασία στις παραμέτρους προγραμματισμού καθοδήγησης των CNC εργαλειομηχανών έχουν τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους. Οι τεχνικές τους λεπτομέρειες (hardware specifications) όπως παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για τη CNC VF1, προσδιορίζουν τις δυνατότητες λειτουργίας άρα και τον τρόπο προγραμματισμού για την ψηφιακά καθοδηγούμενη επιθυμητή κατεργασία που θα υλοποιηθεί.

Στην παρούσα εργασία εκτελέστηκε η μορφοποίηση 10 επιλεγμένων τεμαχίων, με μηχανολογικά χαρακτηριστικά που αντιπροσωπεύουν όλες τις δυνατές παραλλαγές και συνδυασμούς κατεργασιών αφαίρεσης υλικού που απαντώνται στις κατασκευαστικές τεχνολογίες. Για ένα αντιπροσωπευτικό από τα 10 δοκίμια που κατασκευάστηκαν, παρουσιάζεται όλη η διαδικασία σχεδιομελέτης και κατασκευής του. Δεδομένου ότι τα ίδια βήματα ακολουθούνται και για τα υπόλοιπα τεμάχια ακολουθεί για αυτά η παράθεση του κώδικα ψηφιακής καθοδήγησης που υλοποιήθηκε καθώς μόνο αυτός διαφέρει.

3.1 Επιλογή πρώτης ύλης.

Στην Εικόνα 24 παρουσιάζεται το τρισδιάστατο μοντέλο του προς κατασκευή τεμαχίου. Η δημιουργία του τρισδιάστατου μηχανολογικού σχεδίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Autodesk Inventor Pro [7].



Εικόνα 24. Τρισδιάστατο μοντέλο τελικού προϊόντος.

Για την κατασκευή του επιλέχτηκε το υλικό πολυαμίδιο τύπου PA 6 λόγω του χαμηλού κόστους της Ά ύλης, της καλής συμπεριφοράς του σε κατεργασίες αφαίρεσης υλικού και των χαμηλών θερμοκρασιακών μεταβολών, που σύμφωνα με τη βιβλιογραφία παρουσιάζει, σε αυξημένες ταχύτητες και προώσεις κοπής.

Το κομμάτι του πολυαμιδίου (Ertalon) που κάλυψε τις γεωμετρικές προδιαγραφές του προς κατασκευή τεμαχίου ως ακατέργαστη Ά ύλη παρουσιάζεται στην εικόνα 25.

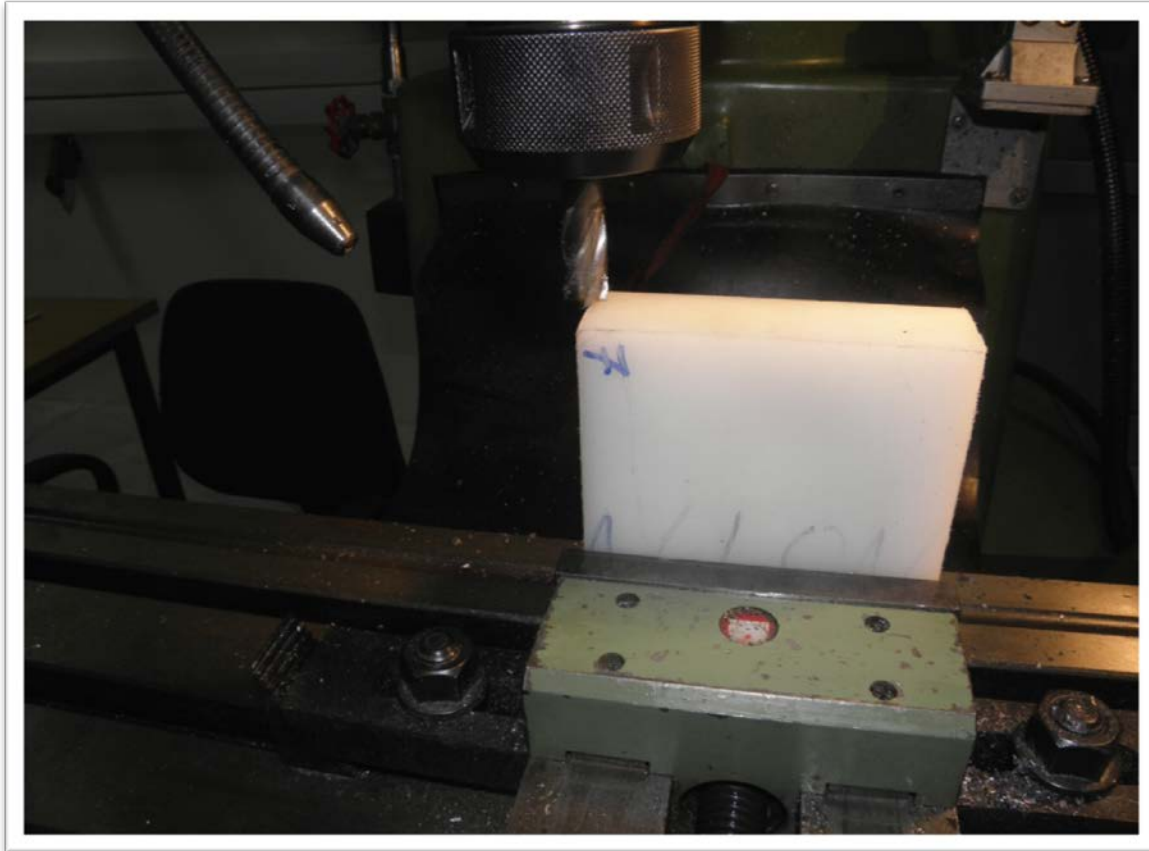


Εικόνα 25. Ακατέργαστο τεμάχιο.

Με βάση τις διαστάσεις και τη γεωμετρία του επιθυμητού τελικού τεμαχίου έγινε και η επιλογή των μεθόδων κατεργασίας και των κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν. Οι κατεργασίες αφαίρεσης υλικού που απαιτούνται για την τελική διαμόρφωση μετά από τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών του στο πρόγραμμα τρισδιάστατης μηχανολογικής σχεδίασης Autodesk Inventor Pro [7] είναι το φρεζάρισμα και η διάτρηση. Οι κατεργασίες αυτές κατέχουν την κυρίαρχη θέση στο χώρο των μηχανουργικών κατεργασιών.

3.2 Προετοιμασία Ά ύλης.

Για την προετοιμασία της πρώτης ύλης, το αρχικό κομμάτι χρειάστηκε να κατεργαστεί, έτσι ώστε να παραλληλιστούν οι επιφάνειες για να έχει την τελική μορφή και τις εξωτερικές διαστάσεις του ακατέργαστου τεμαχίου όπως προέκυψαν από το μηχανολογικό σχέδιο. Η κατεργασία παραλληλισμού πραγματοποιήθηκε σε συμβατική φρέζα του μηχανουργείου (εικόνα 26) λόγω της ευκολίας της που αυτή παρέχει σε τέτοιες κατεργασίες.



Εικόνα 26. Κατεργασία παραλληλισμού σε συμβατική φραιζα.

3.3 Επιλογή εργαλείων.

Τα εργαλεία που κρίθηκαν κατάλληλα και χρησιμοποιήθηκαν για το συγκεκριμένο δοκίμιο είναι ένα τετράφτερο κονδύλι διαμέτρου 20mm, ένα τετράφτερο κονδύλι διαμέτρου 10mm, ένα τρυπάνι διαμέτρου 5mm και ένα τρυπάνι διαμέτρου 8,5mm με τη σειρά που παρουσιάζονται από αριστερά προς τα δεξιά στην εικόνα 27.

Οι επιλογή των εργαλείων έγινε με βάση τη διάμετρο του κοπτικού και την σκληρότητά του. Η διάμετρος του κοπτικού είναι αυτή που θα καθορίσει την καμπυλότητα του σημείου όπου θα περάσει το κοπτικό εργαλείο. Πχ αν το κοπτικό εργαλείο έχει διάμετρο 20mm τότε η ακτίνα της καμπυλότητας που θα προκύψει θα είναι 10mm.

Η σκληρότητα του κοπτικού προκύπτει από τη σύσταση του υλικού του. Για την συγκεκριμένη κατεργασία δεν απαιτήθηκε μεγάλη σκληρότητα καθώς το υλικό κατεργασίας (πολυαμίδιο) είναι από τα πιο μαλακά υλικά. Το υλικό και των τεσσάρων κοπτικών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν απλός ταχυχάλυβας (HSS).



Εικόνα 27. Κοπτικά εργαλεία.

3.4 Υπολογισμός παραμέτρων κοπής.

Ο υπολογισμός των ταχυτήτων κοπής και προώσεων, έγινε με τη βοήθεια μαθηματικών τύπων που χρησιμοποιούνται για το φρεζάρισμα όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 28.

ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/min)}$$

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \text{ (rev/min)}$$

$$vf = fz \cdot z \cdot n = f \cdot n \text{ (mm/min)}$$

$$h_m = fz \cdot \sqrt{\frac{ae}{D}} \text{ (mm)} \frac{ae}{D} < 0,3$$

$$Q = \frac{ap \cdot ae \cdot vf}{1000} \text{ (cm}^3\text{/min)}$$

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

v_c = Ταχύτητα κοπής (m/min)
 n = Στροσές ατράκτου (rev/min)
 vf = Ταχύτητα πρόωσης (mm/min)
 ap = Αξονικό βάθος κοπής (mm)
 ae = Ακτινικό βάθος κοπής (mm)
 f = Πρόωση ανά στροφή (mm/rev)
 z = Αριθμός δοντιών κοπτικού
 fz = Πρόωση ανά δόντι (mm/δόντι)
 D = Διάμετρος κοπτικού (mm)
 h_m = Πάχος αποβλήτου (mm)
 Q = Αφαίρεση υλικού (cm³/min)

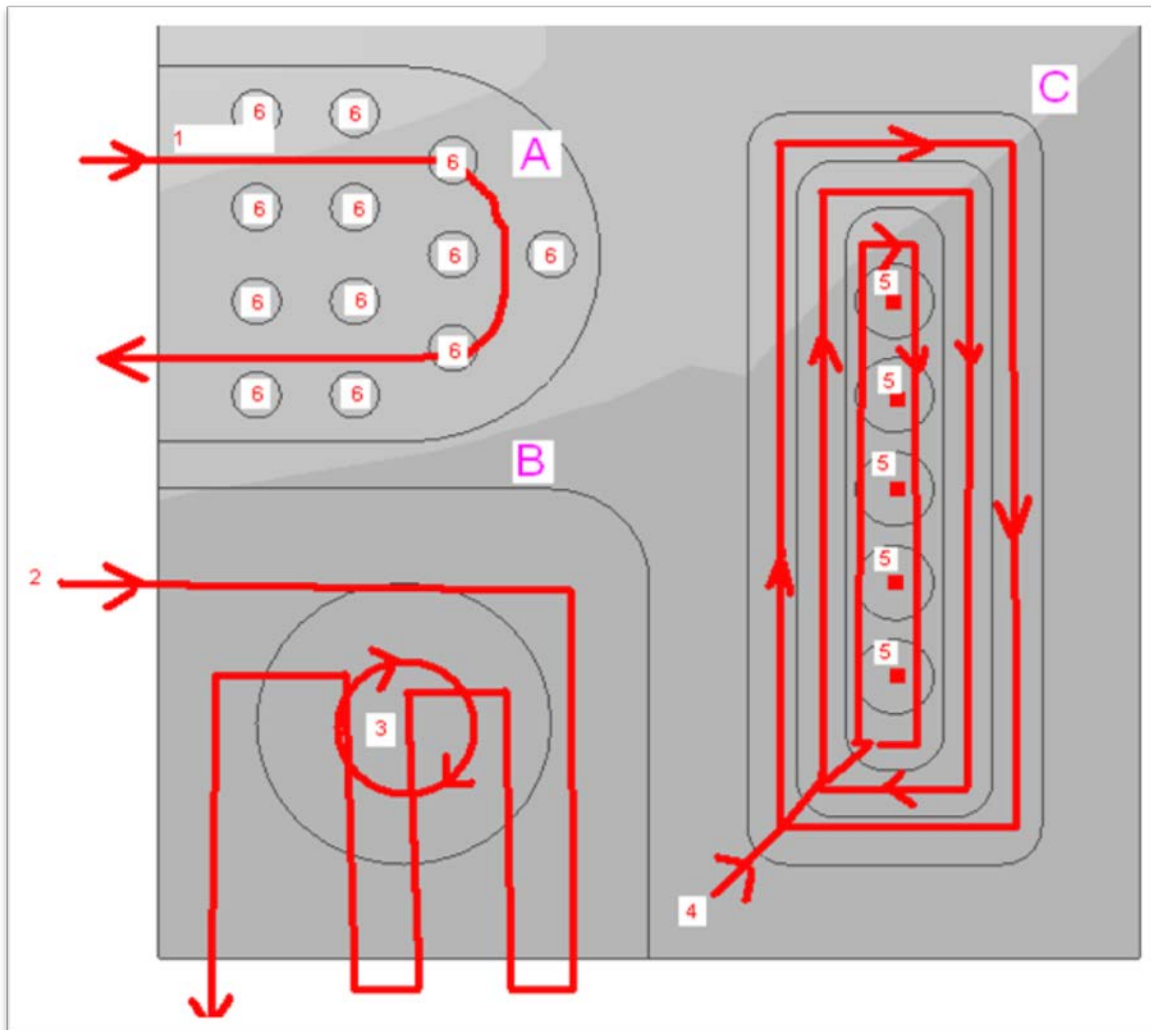
Εικόνα 28. Υπολογισμοί παραμέτρων φρεζαρίσματος [4].

Η ταχύτητα κοπής του πολυαμιδίου που προκύπτει, κυμαίνεται στα 250 – 500 mm/min. Λόγω της μεγάλης αντοχής του υλικού η ταχύτητα κοπής περιορίστηκε στα 100 mm/min. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο αριθμός στροφών της ατράκτου και η πρόωση της κατεργασίας. Οι τιμές που υπολογίστηκαν είναι:

- Για κονδύλι 20mm : Στροφές ατράκτου 1592 rpm με πρόωση 159.2mm/min
- Για κονδύλι 10mm : Στροφές ατράκτου 3184 rpm με πρόωση 318.4mm/min
- Για κονδύλι 5.0mm : Στροφές ατράκτου 6369 rpm με πρόωση 636.9mm/min
- Για κονδύλι 8.5mm : Στροφές ατράκτου 3746 rpm με πρόωση 374,6mm/min

3.5 Επιλογή σειράς και διαδρομής (path) κατεργασιών.

Αφού μέσω της επισκόπησης του CAD αρχείου αποφασιστεί η διαδρομή που θα ακολουθήσει το κάθε εργαλείο για κάθε κατεργασία που απαιτείται, ξεκινά η προετοιμασία της μηχανής για την πραγματοποίηση του κύκλου κατεργασίας.



Εικόνα 29. Κάτοψη δοκιμίου.

Στην εικόνα 29, γίνεται επεξήγηση των εντολών που χρησιμοποιηθήκαν και η πορεία των εργαλείων για την απαιτούμενη κατεργασία.

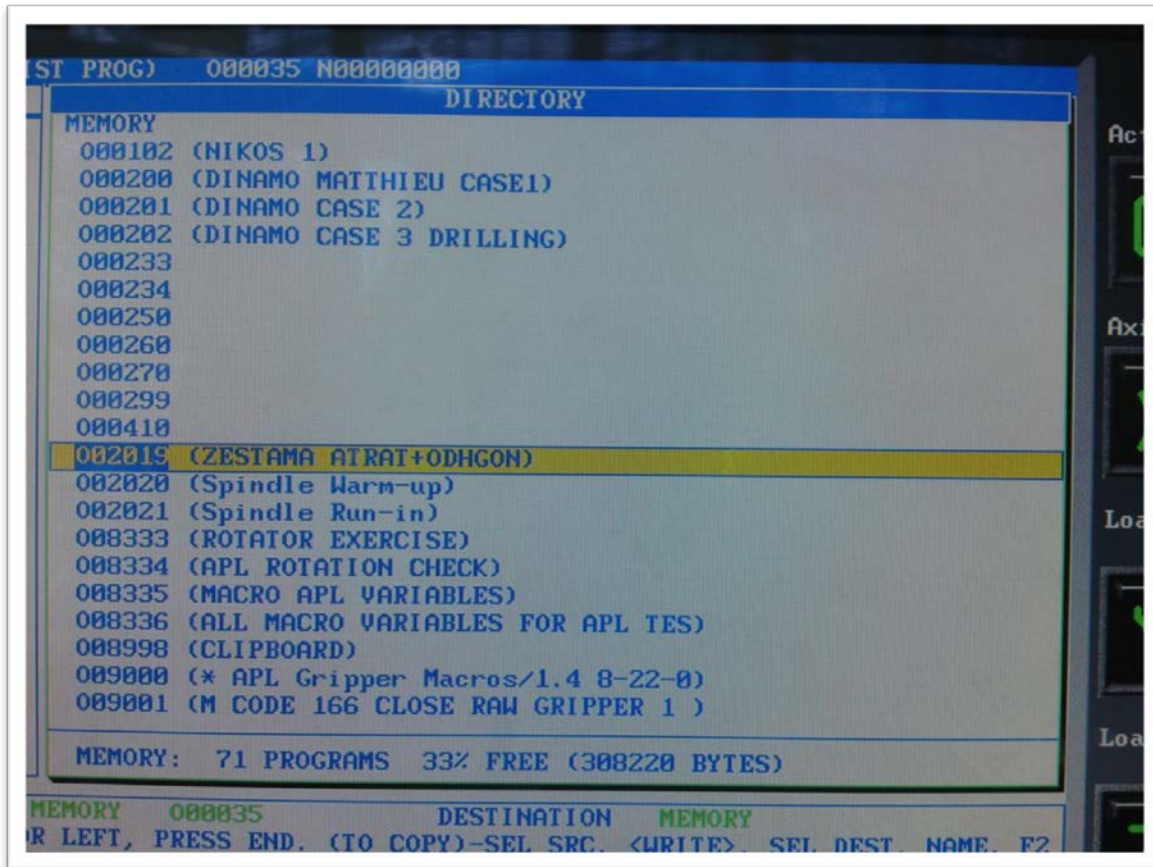
1. Στη περιοχή A γίνεται χρήση των εντολών G1 και G2 με αποτέλεσμα την γραμμική -G1 και την ημικυκλική -G2 κίνηση και αφαίρεση υλικού. Επίσης με την εντολή G73 πραγματοποιηθήκαν οι διατρήσεις των δώδεκα οπών στην περιοχή αυτή.
2. Η περιοχή B χωρίζεται σε δυο επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο κατεργάστηκε με χρήση της εντολής G1 ενώ το δεύτερο που είναι κυκλική εσοχή κατεργάστηκε με την εντολή G12.
3. Η περιοχή C η οποία έχει κλιμακωτή μορφή τριών επιπέδων, κατεργάστηκε με χρήση της εντολής G1. Στη συνέχεια οι πέντε οπές δημιουργηθήκαν με την G73 ορίζοντας το σημείο της πρώτης και τελευταίας οπής.

Η ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας επιλογής της διαδρομής κοπής θέτει το όριο μετάβασης στην κατεργασία με τη προγραμματισμό της CNC.

3.6 Έλεγχος και προθέρμανση εργαλειομηχανής

Πριν από κάθε χρήση της μηχανής πρέπει να ελέγχεται η πίεση του αέρα και η στάθμη λαδιών, παράμετροι ζωτικής σημασίας για τη μη πρόκληση βλάβης στη CNC. Ενεργοποιείται το κομπρεσέρ και στη συνέχεια η εργαλειομηχανή, από το πλήκτρο εκκίνησης **POWER ON**. Στη οθόνη της μηχανής παρουσιάζονται **Alarms**, για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας, διακοπών και των πλήκτρων ασφαλείας (διακόπτης πόρτας, EMERGENCY STOP και RESET). Ο χειριστής πρέπει να απενεργοποιήσει τα alarms, περιστρέφοντας το EMERGENCY STOP, ενεργοποιώντας δυο φορές το πλήκτρο RESET και ανοιγοκλείνοντας την πόρτα για επαλήθευση κατάστασης. Ακολουθεί έλεγχος στα συστήματα προώσεων στις γλίστρες, τοποθετώντας όλους τους άξονες στα οριακά σημεία (-μηδέν) της μηχανής. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με το πλήκτρο POWER UP RESTART. Στην κατάσταση αυτή η μηχανή είναι έτοιμη να πραγματοποιήσει κάθε κατεργασία, όμως για τους λογούς που αναφέρθηκαν, είναι απαραίτητη η προθέρμανση.

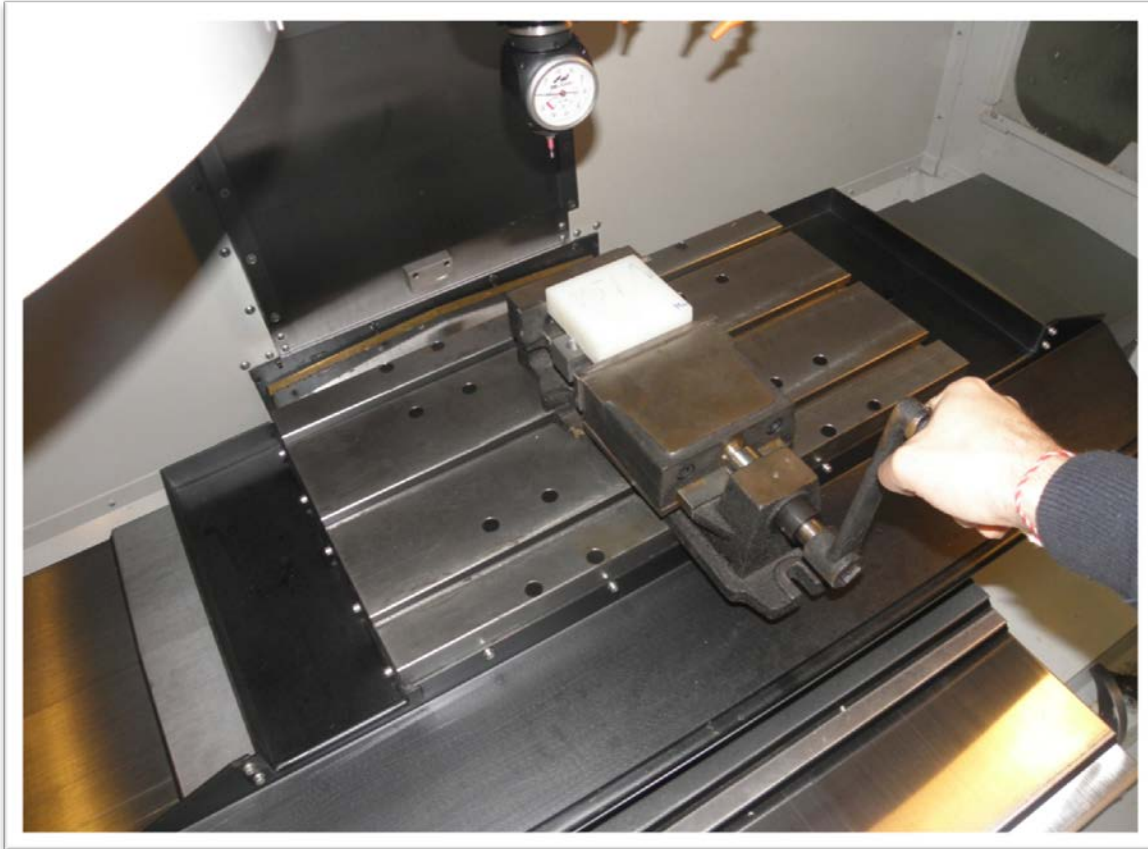
Η προθέρμανση πραγματοποιείται με τη χρήση προγράμματος που βρίσκεται στη λίστα προγραμμάτων (LIST PROGRAM) της μηχανής. Επιλέγεται το πρόγραμμα, τοποθετώντας τον κέρσορα την κίτρινη μπάρα επιλογής πάνω στην ονομασία του και πληκτρολογώντας SELECT PROGRAM, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 30. Αφού επιλεγεί το πρόγραμμα εισάγεται στη μνήμη της μηχανής, πληκτρολογώντας το MEM. Η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί και πατώντας το πλήκτρο CYCLE START ξεκινά η ανάγνωση του κώδικα από τη μηχανή. Το αποτέλεσμα είναι η ταυτόχρονη κίνηση των τριών αξόνων και η σταδιακά αυξανόμενη ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου για 15 λεπτά.



Εικόνα 30. Επιλογή προγράμματος προθέρμανσης ατράκτου.

3.9 Συγκράτηση τεμαχίου στη μέγγενη.

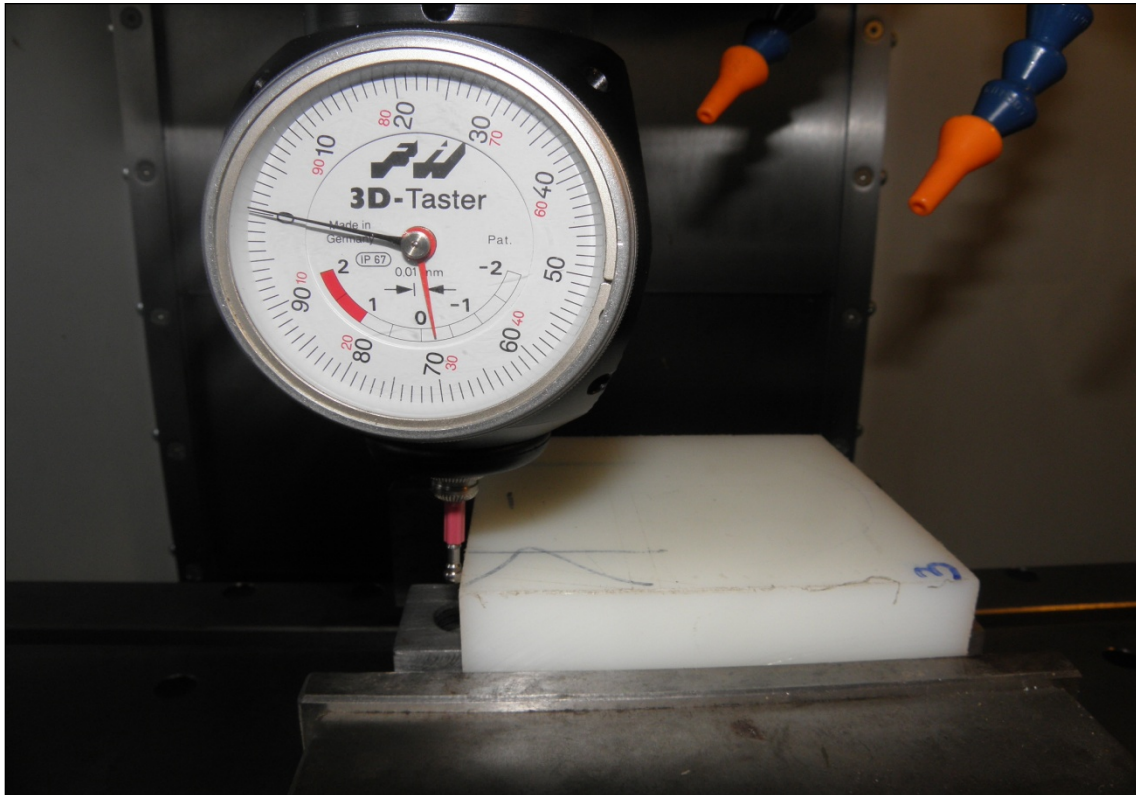
Η μέγγενη συγκρατείται στην τράπεζα κατεργασίας με τη βοήθεια T-παξιμαδιών που ασφαλίζουν στα αυλάκια της τράπεζας με τρόπο ώστε να αποφευχθεί η χαλάρωσή της κατά την κατεργασία. Στη συνέχεια, ευθυγραμμίζεται με τους άξονες X και Y στην τράπεζα κατεργασίας για την επίτευξη κοινού συστήματος συντεταγμένων. Για τη συγκράτησή του, το τεμάχιο προσαρμόστηκε στις σιαγόνες της μέγγενης και στη συνέχεια συσφίχτηκε. Πρέπει να σημειωθεί, ότι κάτω από κάθε τεμάχιο που θα συγκρατηθεί στη μέγγενη, πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη υποστήριξη με παράλληλα πλακίδια προκειμένου να αποφευχθεί η μετακίνηση του τεμαχίου κατά την κατεργασία.



Εικόνα 31. Συγκράτηση τεμαχίου στην μέγγενη.

3.10 Μηδενισμός τεμαχίου

Η διαδικασία του μηδενισμού είναι από τις πιο σημαντικές ενέργειες και απαιτεί μεγάλη προσοχή και ακρίβεια χειρισμού. Σκοπός του μηδενισμού είναι να «καταλάβει» η μηχανή σε ποια ακριβώς θέση των τριών αξόνων της βρίσκεται το τεμάχιο προς κατεργασία. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός μετρητικού οργάνου τριών διαστάσεων (3D Taster) που προσδιορίζει τις συντεταγμένες του τεμαχίου.



Εικόνα 32. Μηδενισμός δοκιμίου στον άξονα X.

Για τον μηδενισμό στους άξονες X και Y, το κέντρο της ατράκτου πρέπει να βρεθεί πάνω από την τοπική (local) αρχή των αξόνων X και Y που έχει επιλεγθεί στο κομμάτι. Για να επιτευχθεί αυτό με μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιείται το μετρητικό όργανο Taster, που κουμπώνει στην άτρακτο και φέρει στο κάτω μέρος του ένα μικρό βραχίονα που καταλήγει σε μια σφαίρα διαμέτρου 4mm. Η σφαίρα μπορεί να κινηθεί και στους τρεις άξονες. Κατά τη μετακίνησή της, ένας ωρολογιακός δείκτης μετράει τη μετατόπισή της με ακρίβεια 0,01mm (Εικόνα 32). Όταν το τεμάχιο κινηθεί κατά άξονα X προς τη σφαίρα και τη μετατοπίσει 2mm, σημαίνει ότι η άτρακτος βρίσκεται πάνω από αρχή του άξονα X. Πιέζοντας δύο φορές το πλήκτρο OFFSET για είσοδο στο περιβάλλον των συστημάτων συντεταγμένων ακολουθεί η καταχώρηση με χρήση του PART ZERO SET (Εικόνα 33). Η διαδικασία μηδενισμού του X άξονα ολοκληρώνεται και με την ίδια διαδικασία μηδενίζουμε το κομμάτι και στους άξονες Y και Z.

OFFSET	(MDI)	N00000000		
WORK ZERO OFFSET				
G CODE	X	Y	Z	
G52	0.	0.	0.	
G54	-351.940	-234.880	-265.290	
G55	-244.120	-178.060	-300.290	
G56	-325.187	-178.150	-300.250	
G57	-250.885	-170.135	-354.339	
G58	-302.736	-273.150	-231.874	
G59	0.	0.	0.	
G154 P1	0.	0.	0.	(
G154 P2	0.	0.	0.	(

Εικόνα 33. Αποθήκευση μηδενισμού τεμαχίου.

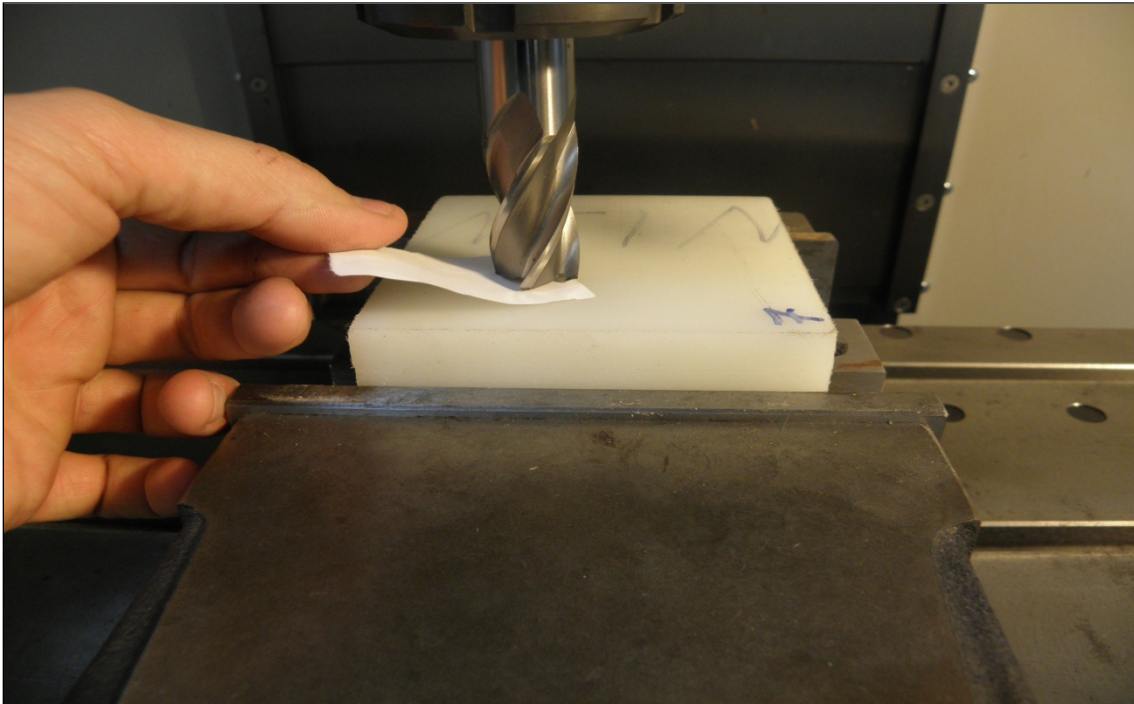
3.11 Μηδενισμός και αρίθμηση εργαλείων

Τα εργαλεία που επιλέχτηκαν για την κατεργασία, αφού ελέγχτηκαν προσεκτικά για τυχόν φθορές, προσαρμόστηκαν με τη βοήθεια της ειδικής μέγγενης στους ανάλογους κώνους, όπου και συσφίχτηκαν. Κατόπιν, το κάθε εργαλείο τοποθετήθηκε στην άτρακτο και πριν μεταβεί στην προκαθορισμένη θέση του εργαλειοφορέα, μηδενίστηκε. Για τον μηδενισμό των εργαλείων επιλέχθηκε μια φορά η εντολή OFFSET για να εμφανιστεί το αντίστοιχο μενού. Για τη διαδικασία αυτή, βασική προϋπόθεση είναι η τοποθέτηση των κοπτικών εργαλείων στους κατάλληλους κώνους συγκράτησης και ο έλεγχος του προκαθορισμένου μήκους τους (εικόνα 34).



Εικόνα 34. Κοπτικά εργαλεία τοποθετημένα σε κώνους.

Τοποθετώντας το κάθε εργαλείο στην άτρακτο, επιλέχθηκε από το μενού, το αντίστοιχο νούμερο του εργαλείου (ένδειξη αρίθμησης μύλου) και οδηγήθηκε με τη βοήθεια της εντολής HAND JOG κατά τον άξονα Z στην επιφάνεια του τεμαχίου όπου και ορίστηκε το σημείο μηδέν με την εντολή TOOL OFFSET MEASURE (Εικόνες 35 & 36).

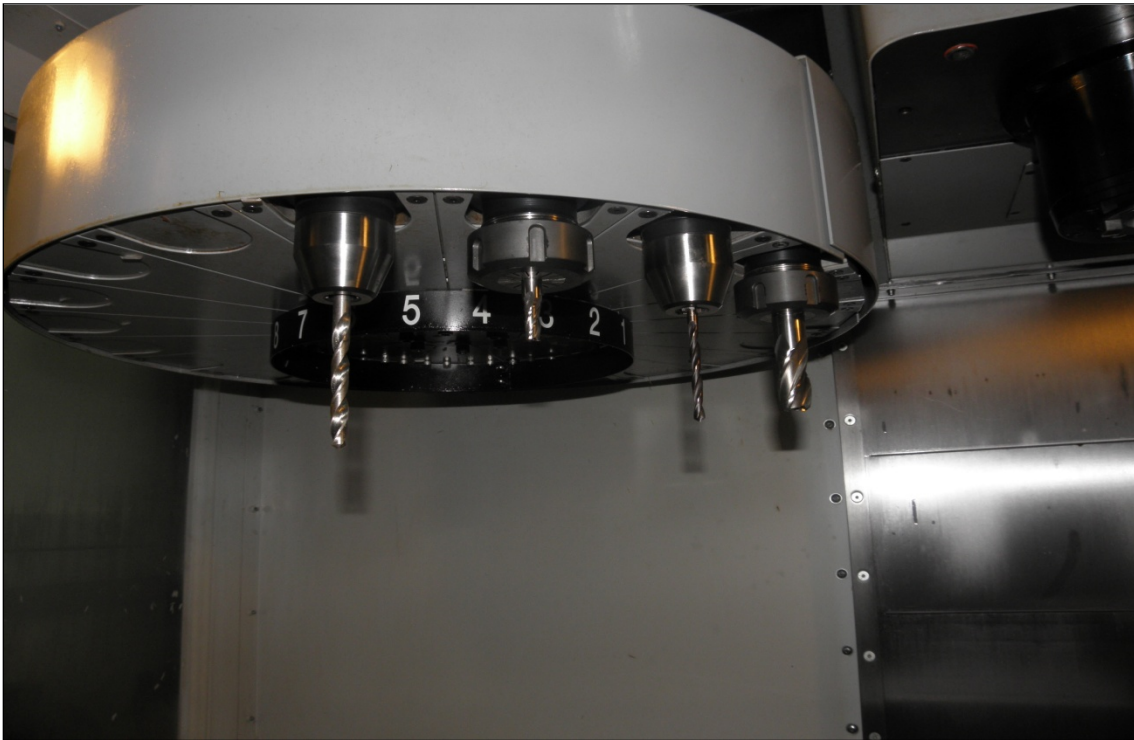


Εικόνα 35. Μηδενισμός κοπτικού εργαλείου.

TOOL	COOLANT	----LENGTH----		---DIAMETER---	
	POSITION	GEOMETRY	WEAR	GEOMETRY	WEAR
1	0	33.000	0.	80.000	0.
2	0	-30.940	0.	80.000	0.
3	0	-32.450	0.	2.009	0.
4	0	-13.527	0.	0.	0.
5	0	27.460	0.	0.	0.
6	0	-7.950	0.	0.	0.
7	0	-12.930	0.	0.	0.
8	0	0.	0.	0.	0.
9	0	0.	0.	0.	0.
10	0	-29.264	0.	0.	0.
11	0	-33.809	0.	0.	0.
12	0	-269.334	0.	0.	0.
13	0	0.	0.	0.	0.
14	0	0.	0.	0.	0.
15	0	0.	0.	0.	0.
16	0	0.	0.	0.	0.
17	0	0.	0.	0.	0.
18	0	0.	0.	0.	0.

Εικόνα 36. Αποθήκευση μηδενισμού κοπτικού εργαλείου.

Μετά την ολοκλήρωση του μηδενισμού και ενεργοποιώντας την εντολή ATC FWD, το κάθε κοπτικό εργαλείο τοποθετείται αυτόματα στην προκαθορισμένη θέση του εργαλειοφορέα όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 37.



Εικόνα 37. Τοποθέτηση κοπτικών εργαλείων στον εργαλειοφορέα.

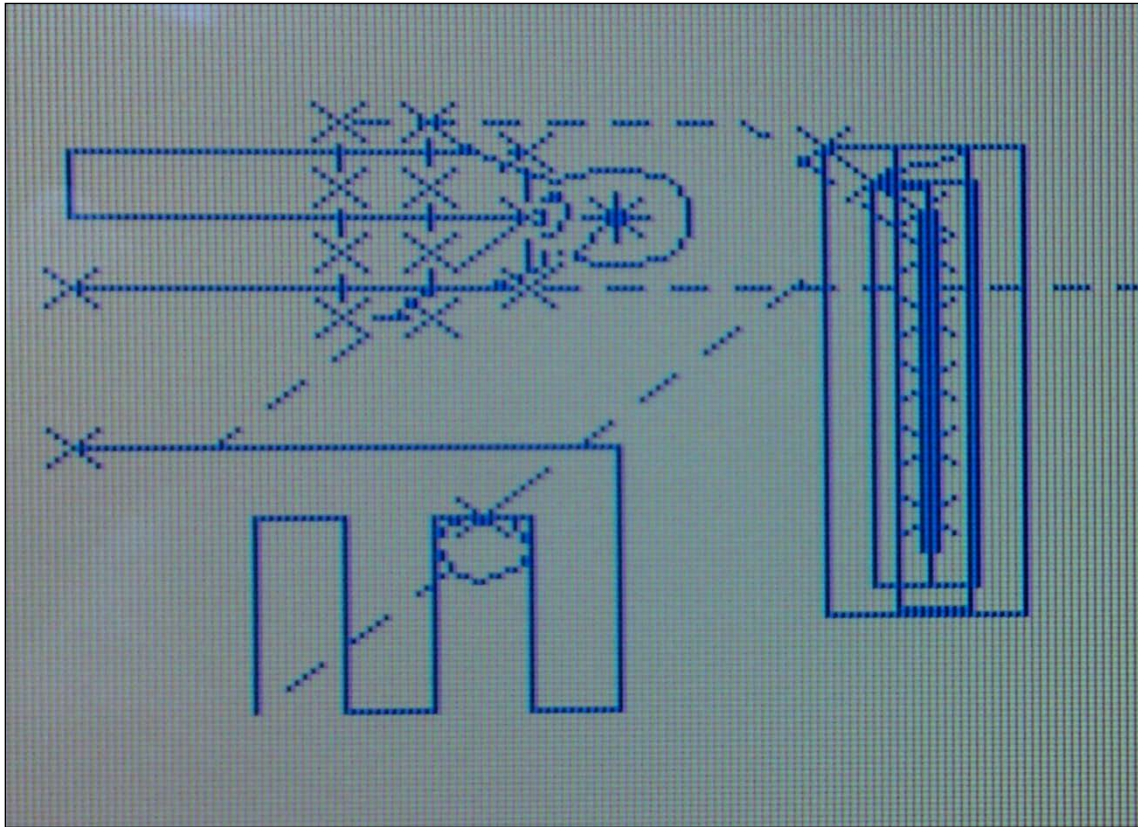
3.12 Εισαγωγή κώδικα G στην εργαλειομηχανή

Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία της τοποθέτησης των εργαλείων στον εργαλειοφορέα, ξεκίνησε η διαδικασία εισαγωγής του κώδικα G, από το πληκτρολόγιο του Controller. Ενεργοποιήθηκε η εντολή MDI και στη συνέχεια πληκτρολογήθηκαν οι εντολές του προγράμματος με τη σειρά που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.5.

Μόλις ολοκληρώθηκε η διαδικασία, αποθηκεύτηκε το πρόγραμμα στη λίστα προγραμμάτων (LIST PROGRAM), πληκτρολογώντας, στο πάνω μέρος του υπό δημιουργία προγράμματος, το γράμμα O και δίπλα τον αριθμό με τον οποίο θα αποθηκευτεί το πρόγραμμα. Στη συνέχεια πληκτρολογήθηκε η εντολή ALTER και έτσι ολοκληρώθηκε η διαδικασία της αποθήκευσης. Για να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα, πληκτρολογήθηκε η εντολή LIST PROGRAM και επιλέχτηκε από τη λίστα προγραμμάτων βάση του αριθμού του. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε ο κέρσορα πάνω στην ονομασία του προγράμματος και πληκτρολογήθηκε η εντολή SELECT PROGRAM. Μόλις έγινε η επιλογή, πληκτρολογήθηκε η εντολή MEM ώστε να εισαχθεί το πρόγραμμα στη μνήμη της εργαλειομηχανής.

3.13 Έλεγχος του κώδικα από τα γραφικά της εργαλειομηχανής

Για τον έλεγχο του κώδικα, υπάρχει η δυνατότητα των γραφικών, ώστε να γίνει προσομοίωση της πορείας των κοπτικών εργαλείων (Toolpaths), προλαμβάνοντας με αυτόν τον τρόπο ατυχήματα ή λάθη. Η διαδικασία για την ενεργοποίηση των γραφικών κατεργασίας είναι η εξής: List Program → Select Program → Mem → δυο φορές, Setting Graph → Cycle Start. Το αποτέλεσμα του ελέγχου παρουσιάζεται στην εικόνα 38.



Εικόνα 38. Προσομοίωση κύκλου κατεργασίας με την βοήθεια γραφικών.

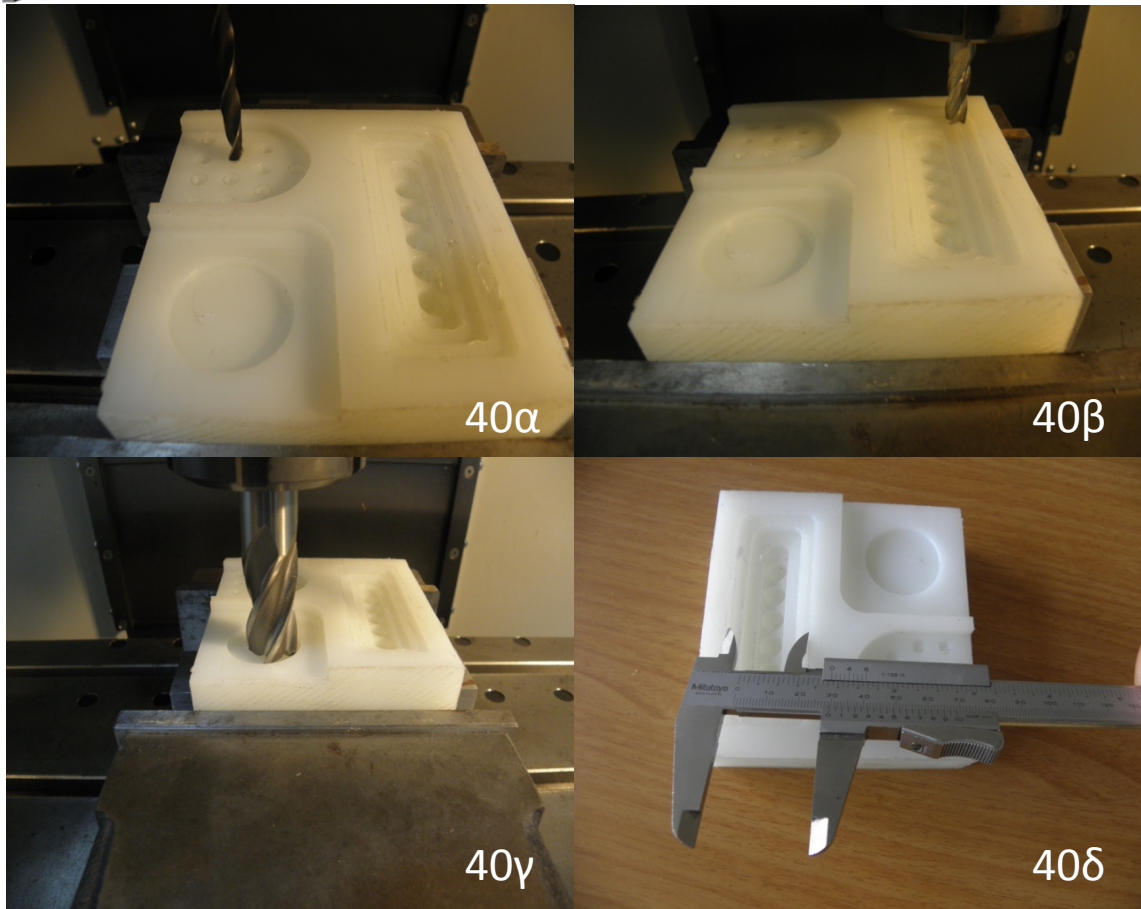
3.14 Κοπή με και χωρίς χρήση της Single Block

Όντας έτοιμος και ελεγμένος ο κώδικας G, ξεκινά ο κύκλος κατεργασίας όχι απευθείας, αλλά ενεργοποιώντας την εντολή Single Block, με την οποία ο κώδικας εξελίσσεται βήμα – βήμα, κατόπιν εντολής του χειρίστη, μέσω του Cycle Start (Εικόνα 39). Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για την ομαλή εκκίνηση ενός προγράμματος σε περίπτωση αμφιβολιών για τη σωστή διεξαγωγή του κύκλου κατεργασίας. Εφόσον η διαδικασία ξεκίνησε κανονικά, απενεργοποιήθηκε η εντολή Single Block και ο κύκλος κατεργασίας ολοκληρώθηκε χωρίς διακοπές.



Εικόνα 39. Τρέξιμο κώδικα σε Single Block.

Στην εικόνα 40 (α) έως (δ), παρουσιάζονται οι κατεργασίες που υλοποιήθηκαν με τη χρήση του κώδικα που προγραμματίστηκε, καθώς και το τελικό προϊόν που προέκυψε με την ολοκλήρωση του κύκλου κατεργασίας. Το τελικό προϊόν, αφού ολοκληρώθηκε η κατεργασία, αφαιρέθηκε από την μέγγενη και με τη βοήθεια παχύμετρου, ελέγχτηκαν οι διαστάσεις του σε σχέση με το αρχικό επιθυμητό μηχανολογικό σχέδιο.



Εικόνα 40. (α) Διάτρηση, (β & γ) Φρεζάρισμα (δ) έλεγχος προϊόντος.

3.15 Καθαρισμός - συντήρηση εργαλειομηχανής

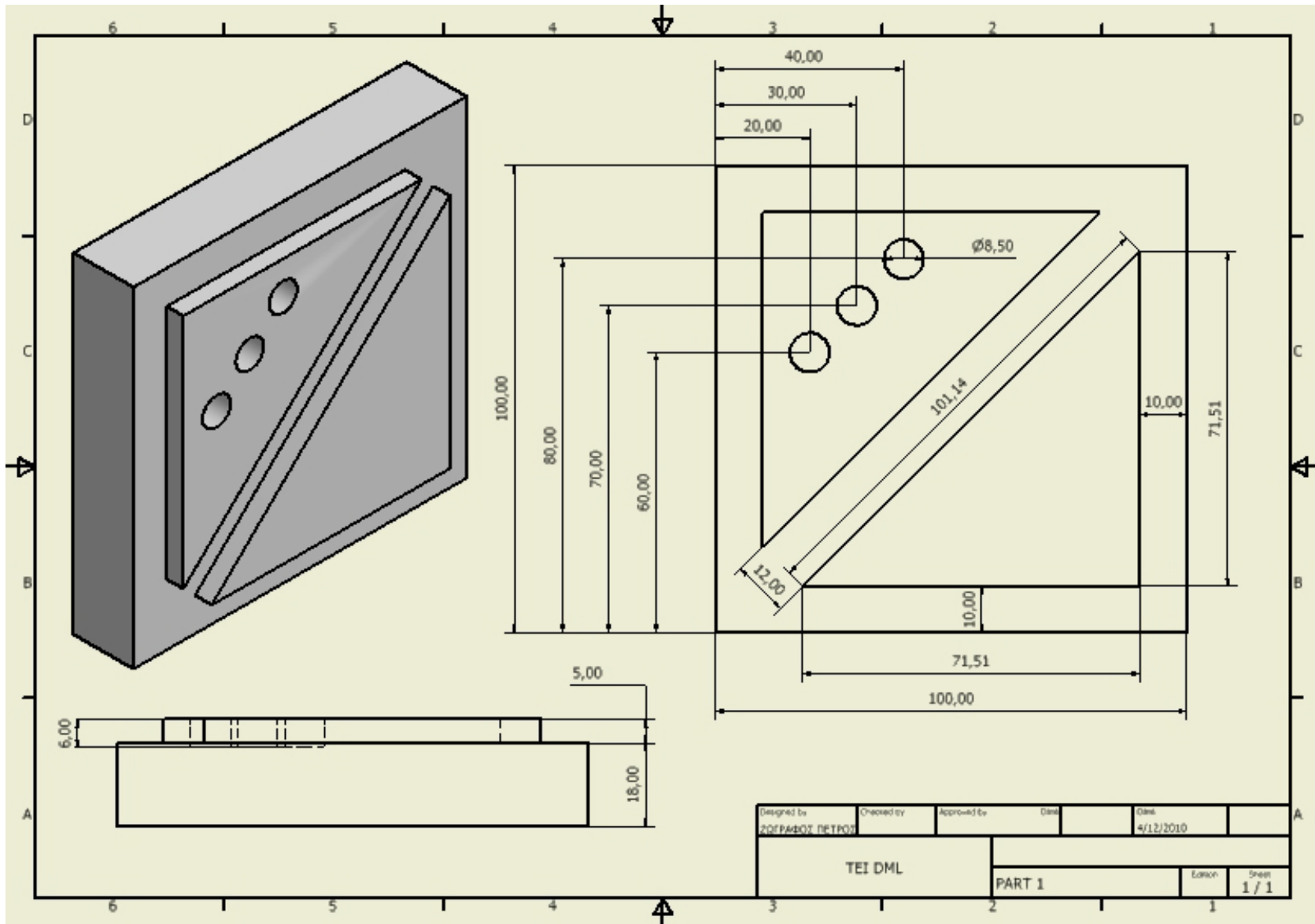
Παρότι η διαδικασία ολοκληρώθηκε μια ακόμη ενέργεια πριν την απενεργοποίηση της μηχανής είναι απαραίτητη. Είναι αναγκαίος και επιβάλλεται ο καθαρισμός της εργαλειομηχανής, με χρήση αέρα και σαπουνελαίου, ενεργοποιώντας παράλληλα τον γρεζομεταφορέα, ώστε να οδηγηθούν τα απόβλιττα στην έξοδο της χοάνης που διαθέτει η μηχανή (εικόνα 41). Μόλις ολοκληρώθηκε η διαδικασία καθαρισμού, αφαιρέθηκαν τα περιφερικά συστήματα (μέγγενη, κώνοι) και καθαριστήκαν επιμέρους. Στην τράπεζα στρώνεται ένα λεπτό φιλμ λαδιού προς αποφυγήν οξείδωσης και ελέγχονται τα υποσυστήματα της εργαλειομηχανής διεξοδικά.



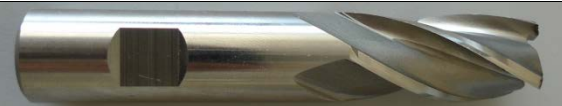


Εικόνα 41. χοάνης που διαθέτει η μηχανή.

4. Μηχανολογική μελέτη, σχεδιασμός, προγραμματισμός και κύκλοι κατεργασιών σε 8 χαρακτηριστικά δοκίμια.

Η διαδικασία που περιγράφηκε στο Τρίτο κεφάλαιο λεπτομερώς, ακολουθεί για εννέα ακόμη χαρακτηριστικά δοκίμια που επιλέχθηκαν με τρόπο τέτοιο ώστε να συμπεριληφθούν στην κατεργασία τους όλες οι σημαντικές λειτουργίες που δύναται να πραγματοποιήσει η CNC με τη βοήθεια προγραμματισμού. Στα δοκίμια αυτά παρουσιάζεται το μηχανολογικό τρισδιάστατο σχέδιο, όπως υλοποιήθηκε με το πρόγραμμα τρισδιάστατης μηχανολογικής μοντελοποίησης Autodesk Inventor Pro [7], ο κώδικας που υλοποιήθηκε και δίδεται έμφαση στα σημεία που ενεργοποιείται εντολή διαφορετική από μετάβαση σε συντεταγμένες σημείων.

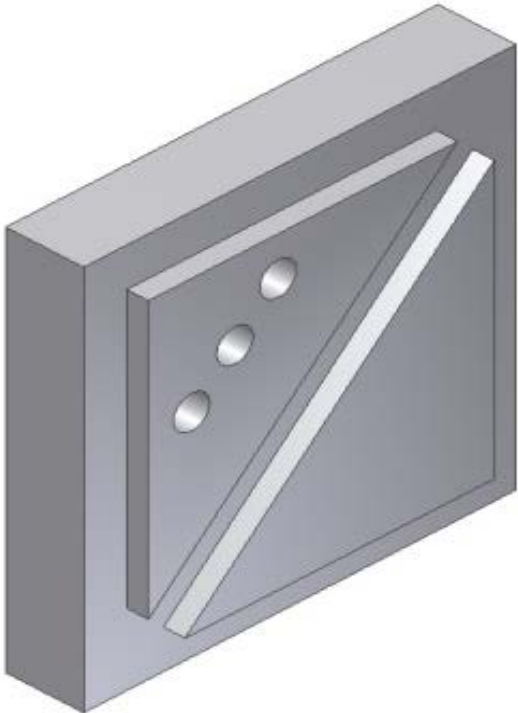


Εικόνα 42. Μηχανολογικό Σχέδιο Δοκιμίου 1 [7].

Αρίθμηση Κοπτικού	Κοπτικό	Περιγραφή
Εργαλείο 1	-	Κενή θέση
Εργαλείο 3		Τετράφτερο: κονδύλι D 20mm HSS
Εργαλείο 4		Τετράφτερο: κονδύλι D 12mm HSS
Εργαλείο 5		Τρυπάνι: D 8.5mm HSS

Πίνακας 1. Εργαλεία Κατεργασίας Δοκιμίου 1.

Περιγραφή Προγραμματισμού Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 1

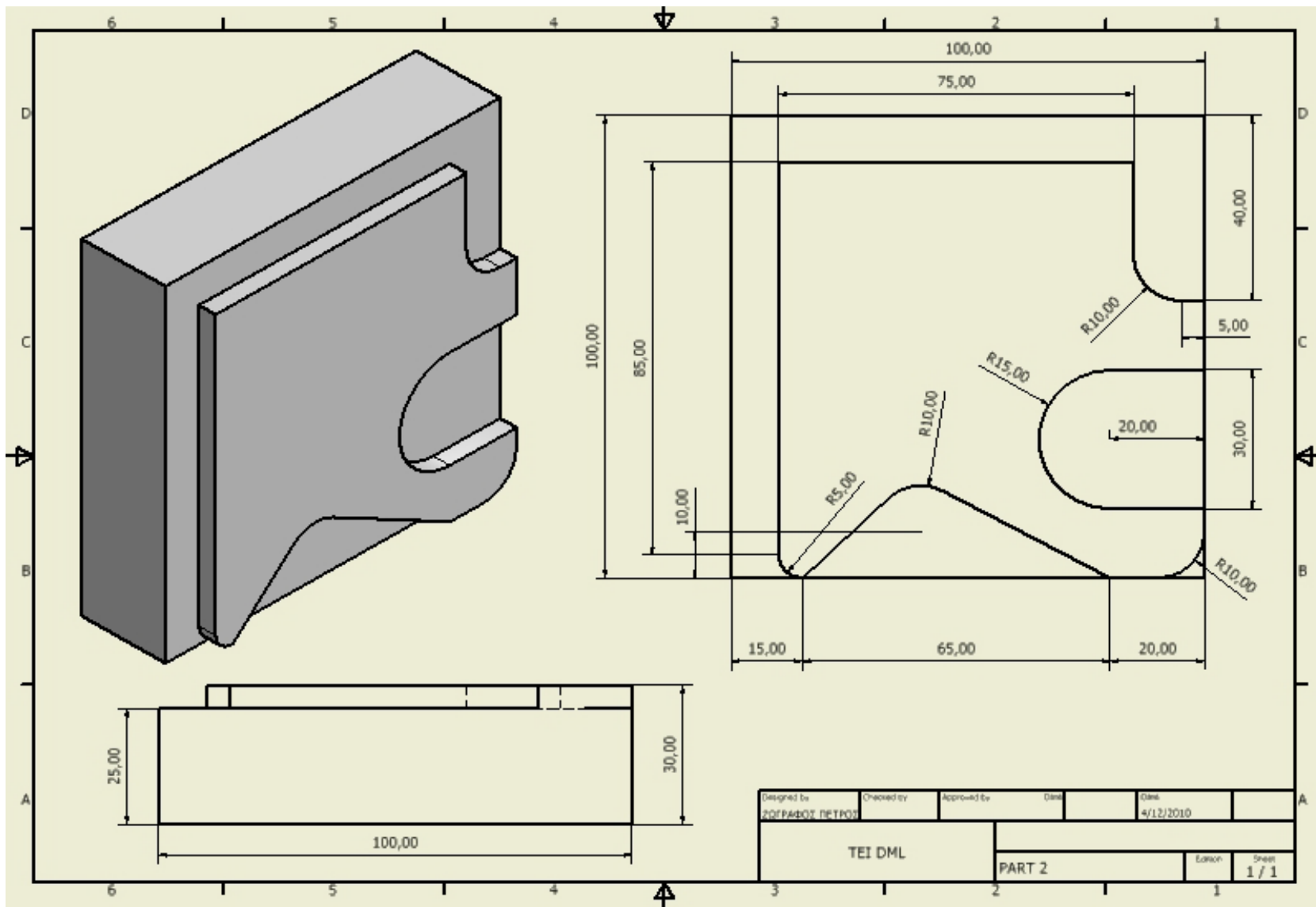
	Cmd#	Εντολή	Πρόγραμμα 000032	Παρατηρήσεις
 <p>Δοκίμιο 1. 3D-Μηχανολογικό Σχέδιο.</p>	C1	G54	Επιλογή σημείου αναφοράς	<p>c5-c11 Περιμετρική κατεργασία του δοκιμίου με το κοπτικό εργαλείο T3.</p>
	C2	M06 T3	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου. Υποδοχή εργαλείου 3	
	C3	S1000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1000rpm	
	c4	G00 X0 Y-30. Z40.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται	
	c5	G43 H03	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 3	
	c6	G01 Z-5. F1000.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 1000mm/min	
	c7	G01 Y100.	Γραμμική κίνηση	
	c8	G01 X100.	Γραμμική κίνηση	
	c9	G01 Y0.	Γραμμική κίνηση	
	c10	G01 X0.	Γραμμική κίνηση	
	c11	G01 X0. Y0. Z40.	Γραμμική κίνηση	

	c12	M06 T4	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου Υποδοχή εργαλείου 4		
	c13	S1300 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1300rpm		
	c14	G43 H04	Αντιστάθμιση μήκους του εργαλείου 4		
	c15	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται		
	c16	G01 Z-5. F1000.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 1000mm/min		
	c17	G01 X100. Y100.	Γραμμική κίνηση		c17 Ταυτόχρονη κίνηση στον X και Y άξονα κινώντας το κοπτικό εργαλείο διαγώνια. (Διαγώνιο φρεζάρισμα εσοχής)
c18	G01 Z30.	Γραμμική κίνηση			
c19	M06 T5	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου Υποδοχή εργαλείου 5			
c20	S1000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1000rpm			
c21	G43 H05	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 5			
c22	G00 X20. Y60. Z30.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται			
c23	G01 Z5. F1000.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 1000mm/min			
	c24	G01 Z-6.	Γραμμική κίνηση	c24 Βύθιση του κοπτικού εργαλείου T5 Διάνοιξη Ά οπής.	
	c25	G01 Z5.	Γραμμική κίνηση		
	c26	G01 X30.	Γραμμική κίνηση		

Δοκίμιο 1. Τελικό Προϊόν.

	Y70.		
c27	G01 Z-6.	Γραμμική κίνηση	c27 Βύθιση του κοπτικού εργαλείου T5 Διάνοιξη 'B σπής.
c28	G01 Z5.	Γραμμική κίνηση	
c29	G01 X40. Y80.	Γραμμική κίνηση	
c30	G01 Z-6.	Γραμμική κίνηση	c30 Βύθιση του κοπτικού εργαλείου T5 Διάνοιξη 'Γ σπής.
c31	G01 Z5.	Γραμμική κίνηση	
c32	G01 Z100. F500.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 500mm/min	
c33	M06 T1	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου Υποδοχή εργαλείου 1 - KENO	
c34	M30	Τέλος προγράμματος	

Πίνακας 2. Περιγραφή Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 1.



Εικόνα 43. Μηχανολογικό Σχέδιο Δοκίμιου 2.

Αρίθμηση Κοπτικού	Κοπτικό	Περιγραφή
Εργαλείο 1	-	Κενή θέση
Εργαλείο 3		Τετράφτερο: κονδύλι D 20mm HSS

Πίνακας 3. Εργαλείο Κατεργασίας Δοκιμίου 1.

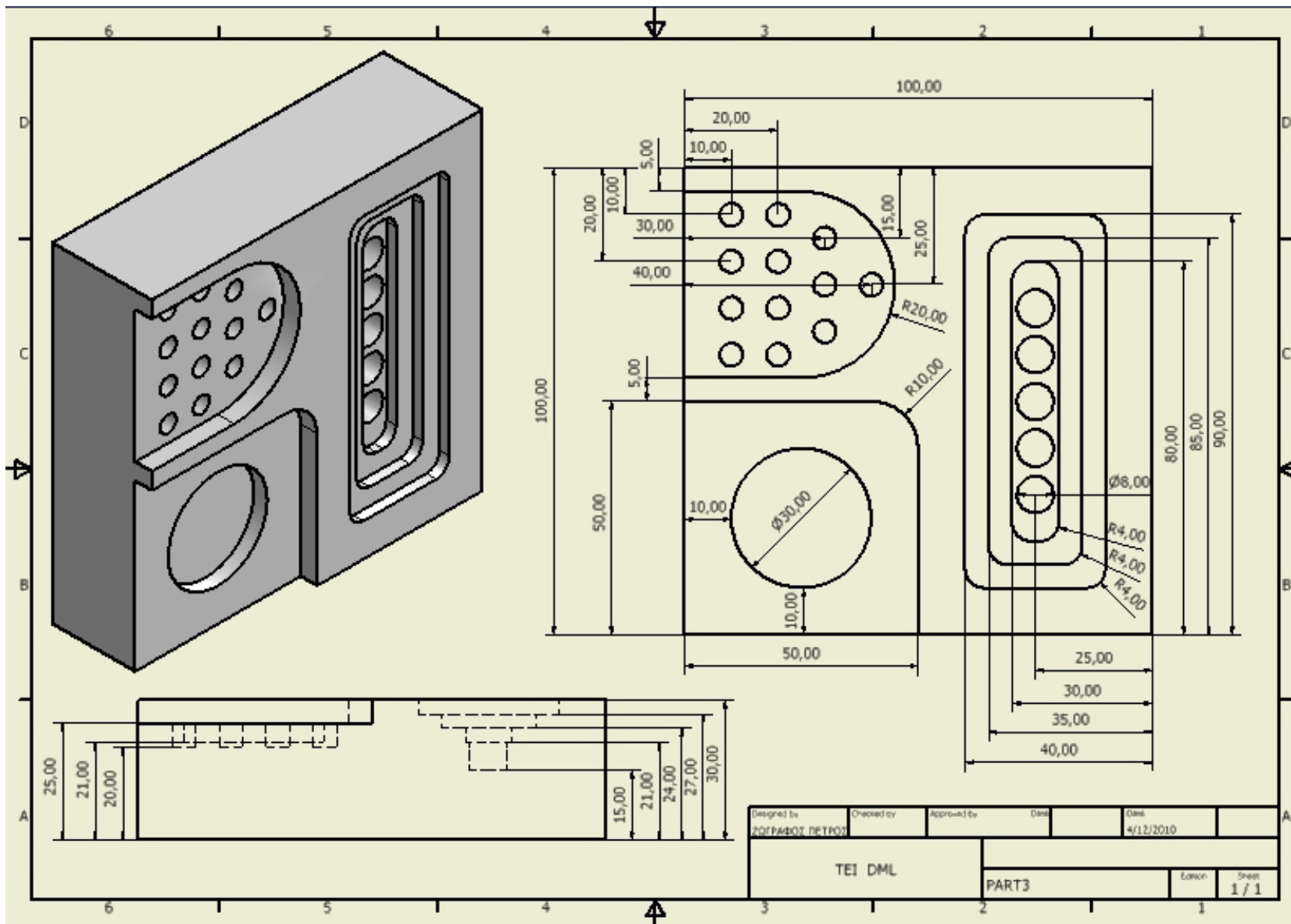
Περιγραφή Προγραμματισμού Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 2					
	Cmd#	Εντολή	Πρόγραμμα 000034	Παρατηρήσεις	
	C1	G55	Επιλογή σημείου αναφοράς		c6-c23 Περιμετρική κατεργασία του δοκιμίου με το κοπτικό εργαλείο T3.
	C2	M06 T3	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)		
	C3	S1500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1500rpm		
	c4	G43 H03 Z100. F300.	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 3		
	c5	G00 X0 Y-30. Z30.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται		
	c6	G01 Z-5. F300.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 300mm/min		
	c7	G01 Y100.	Γραμμική κίνηση		
	c8	G01 X95.	Γραμμική κίνηση		
	c9	G01 Y70.	Γραμμική κίνηση		
	c10	G01 X100.	Γραμμική κίνηση		
	c11	G00 X115.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται		
	c12	G01 Y35.	Γραμμική κίνηση		

Δοκίμιο 2. 3D-Μηχανολογικό Σχέδιο.





	c13	G01 X80.	Γραμμική κίνηση	
	c14	G03 Y25. R5.	Κυκλική κίνηση με αντί-ωρολογιακή φορά	C14 Κυκλική κίνηση με αριστερόστροφη φορά.
	c15	G01 X110.	Γραμμική κίνηση	
	c16	G01 Y10.	Γραμμική κίνηση	
	c17	G02 X90. Y-10. R20.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
	c18	G01 X80.	Γραμμική κίνηση	c19-c20 Ταυτόχρονη κίνηση του x και y άξονα με αποτέλεσμα τις δύο διαγώνιες κατεργασίες.
	c19	G01 X40. Y10.	Γραμμική κίνηση	
	c20	G01 X20. Y-10.	Γραμμική κίνηση	
	c21	G01 X15.	Γραμμική κίνηση	
	c22	G02 X0 Y5. R15.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
	c23	G01 X-20. Z10.	Γραμμική κίνηση	
	c24	G00 Z40.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c25	M06 T1	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 1)	
c26	M30	Τέλος προγράμματος		

Δοκίμιο 2. Τελικό Προϊόν

Πίνακας 4. Περιγραφή Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 2.

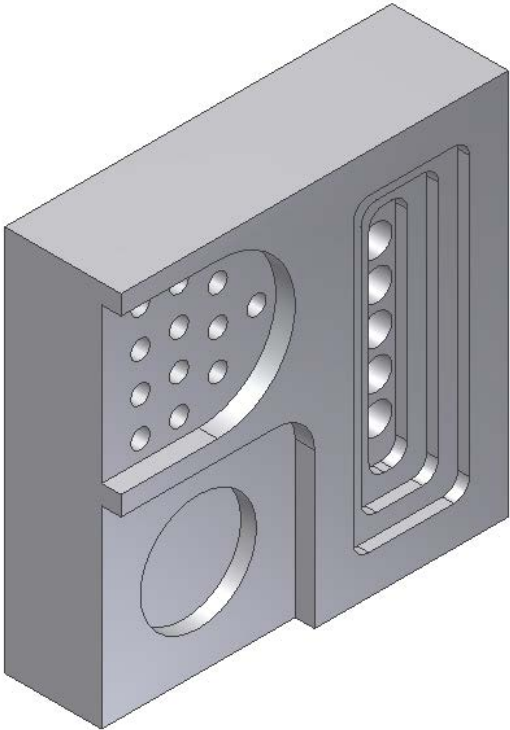


Εικόνα 44. Μηχανολογικό Σχέδιο Doκιμίου 3.

Αρίθμηση Κοπτικού	Κοπτικό	Περιγραφή
Εργαλείο 1	-	Κενή θέση
Εργαλείο 2		Τετράφτερο: κονδύλι D 20mm HSS
Εργαλείο 3		Τετράφτερο κονδύλι: D 8mm HSS
Εργαλείο 5		Τρυπάνι: D 8 mm HSS
Εργαλείο 6		Τρυπάνι: D 5mm HSS

Πίνακας 5. Εργαλεία Κατεργασίας Δοκιμίου 3.

Περιγραφή Προγραμματισμού Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 3

 <p>Δοκίμιο 3. 3D-Μηχανολογικό Σχέδιο.</p>	Cmd#	Εντολή	Πρόγραμμα O00035	Παρατηρήσεις	
	C1	G54	Επιλογή σημείου αναφοράς		c5-c10 Εσοχή ημικυκλίου με το κοπτικό εργαλείο T2
	C2	M06 T2	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 2)		
	C3	S1500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1500rpm		
	c4	G43 H02	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 2		
	c5	G00 X-20. Y65.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται		
	c6	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται		
	c7	G01 Z-5. F300.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 300mm/min		
	c8	G01 X25.	Γραμμική κίνηση		
	c9	G03 X25. Y85. R10.	Κυκλική κίνηση με αντιωρολογιακή φορά		
	c10	G01 X-20.	Γραμμική κίνηση		
	c11	G01 Y75.	Γραμμική κίνηση		
	c12	G01 X30.	Γραμμική κίνηση		

	c13	G01 Z30.	Γραμμική κίνηση	
	c14	G00 X-20. Y40.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται	
	c15	G01 Z-5.	Γραμμική κίνηση	
	c16	G01 X40.	Γραμμική κίνηση	
	c17	G01 Y0	Γραμμική κίνηση	
	c18	G01 X30.	Γραμμική κίνηση	
	c19	G01 Y30.	Γραμμική κίνηση	
	c20	G01 X20.	Γραμμική κίνηση	
	c21	G01 Y0	Γραμμική κίνηση	
	c22	G01 X10.	Γραμμική κίνηση	
	c23	G01 Y30.	Γραμμική κίνηση	
	c24	G01 X0	Γραμμική κίνηση	
	c25	G01 Y0	Γραμμική κίνηση	
	c26	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	c27-c30 Δημιουργία κυκλικής εσοχής
	c27	G00 X25. Y30.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται	
	c28	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση	
	c29	G02 X25. Y20. R5.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	c32-c60 Κατεργασία ορθογώνιων εσοχών με το κοπτικό
	c30	G02 X25. Y30.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
	c31	G01 Z0	Γραμμική κίνηση	
	c32	M06 T3	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
	c33	S1000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με	

Δοκίμιο 3. Τελικό Προϊόν			ταχύτητα 1000rpm	εργαλείο T3
	c34	G43 H03	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 3	
	c35	G00 X64. Y86.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται	
	c36	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c37	G01 Z-3. F300.	Γραμμική κίνηση	
	c38	G01 X86.	Γραμμική κίνηση	
	c39	G01 Y14.	Γραμμική κίνηση	
	c40	G01 X64.	Γραμμική κίνηση	
	c41	G01 Y86.	Γραμμική κίνηση	
	c42	G01 X72.	Γραμμική κίνηση	
	c43	G01 Y15.	Γραμμική κίνηση	
	c44	G01 X80.	Γραμμική κίνηση	
	c45	G01 Y85.	Γραμμική κίνηση	
	c46	G01 X69. Y81.	Γραμμική κίνηση	
	c47	G01 Z-6.	Γραμμική κίνηση	
	c48	G01 X81.	Γραμμική κίνηση	
	c49	G01 Y19.	Γραμμική κίνηση	
	c50	G01 X69.	Γραμμική κίνηση	
	c51	G01 Y80.	Γραμμική κίνηση	
	c52	G01 X75.	Γραμμική κίνηση	
	c53	G01 Y20.	Γραμμική κίνηση	
c54	G01 X74. Y76.	Γραμμική κίνηση		
c55	G01 Z-9.	Γραμμική κίνηση		
c56	G01 X76.	Γραμμική κίνηση		
c57	G01 Y24.	Γραμμική κίνηση		
c58	G01 X74.	Γραμμική κίνηση		
c59	G01 Y76.	Γραμμική κίνηση		
c60	G01 Z20.	Γραμμική κίνηση		

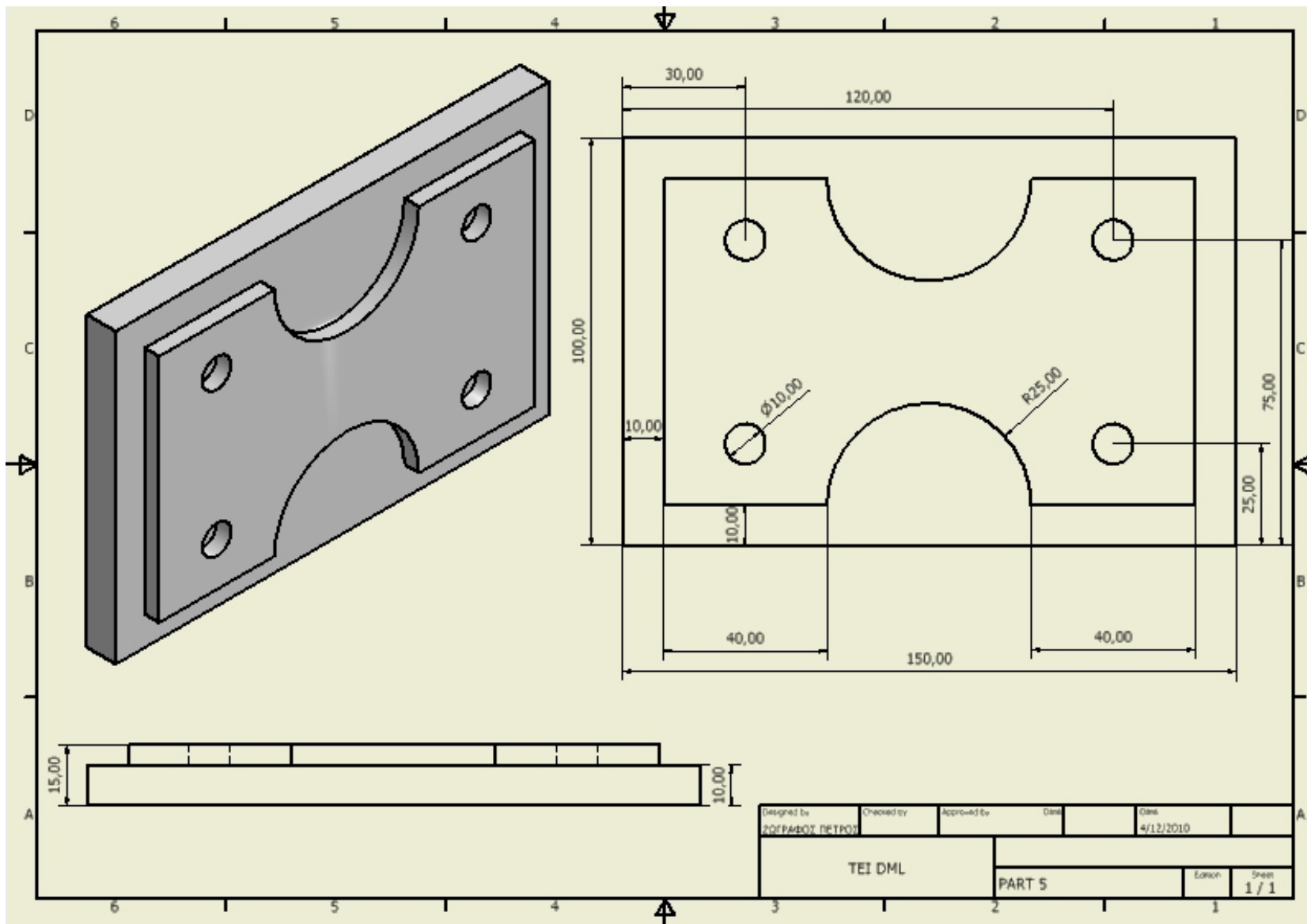
c61	M06 T5	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 5)	c61-c79 Διάνοιξη 5 οπών με το κοπτικό εργαλείο T5
c62	S1500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1500rpm	
c63	G43 H05	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 5	
c64	G00 X75. Y30.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται	
c65	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c66	G01 Z-15. F300.	Γραμμική κίνηση	
c67	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c68	G00 Y40.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c69	G01 Z-15.	Γραμμική κίνηση	
c70	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c71	G00 Y50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c72	G01 Z-15.	Γραμμική κίνηση	
c73	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c74	G00 Y60.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c75	G01 Z-15.	Γραμμική κίνηση	
c76	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c77	G00 Y70.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c78	G01 Z-15.	Γραμμική κίνηση	

c79	G01 Z10.	Γραμμική κίνηση	c80-c119 Διάνοιξη 12 οπών με το κοπτικό εργαλείο T6
c80	M06 T6	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 6)	
c81	S2000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 2000rpm	
c82	G43 H06	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 6	
c83	G00 X10. Y90.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται	
c84	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c87	G00 Y80.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c88	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση	
c89	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c90	G00 Y70.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c91	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση	
c92	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c93	G00 Y60.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c94	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση	
c95	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c96	G00 X20.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c97	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση	
c98	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	

c99	G00 Y70.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c100	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση
c101	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c102	G00 Y80.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c103	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση
c104	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c105	G00 Y90.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c106	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση
c107	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c108	G00 X30. Y85.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται
c109	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση
c110	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c111	G00 Y75.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c112	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση
c113	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c114	G00 Y65.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c115	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση
c116	G00 Z2.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται

c117	G00 X40. Y75.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται	
c118	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση	
c119	G00 Z10.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c120	M06 T1	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 6)	
c121	M30	Τελος προγράμματος	

Πίνακας 6. Περιγραφή Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 3.



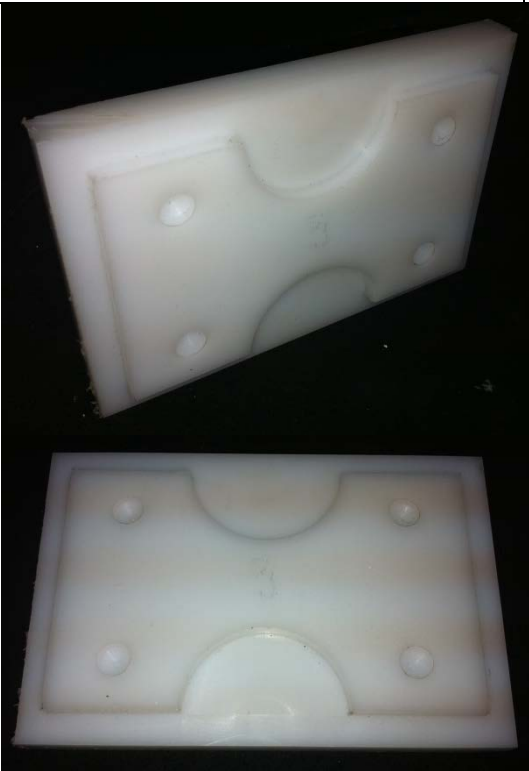
Εικόνα 45. Μηχανολογικό Σχέδιο Δοκιμίου 4.

Αρίθμηση Κοπτικού	Κοπτικό	Περιγραφή
Εργαλείο 1	-	Κενή θέση
Εργαλείο 2		Τετράφτερο: κονδύλι D 20mm HSS
Εργαλείο 3		Τετράφτερο κονδύλι: D 10mm HSS

Πίνακας 7. Εργαλεία Κατεργασίας Δοκιμίου 4.

Περιγραφή Προγραμματισμού Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 4				
	Cmd#	Εντολή	Πρόγραμμα 000037	Παρατηρήσεις c6-c11 περιμετρική κατεργασία του δοκιμίου με το κοπτικό εργαλείο T2
	C1	G54	Επιλογή σημείου αναφοράς	
	C2	M06 T2	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 2)	
	C3	S1500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1500rpm	
	c4	G43 H02	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 2	
	c5	G00 X0 Y-30. Z30.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται	
	c6	G01 Z-5. F300.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 300mm/min	
	c7	G01 Y100.	Γραμμική κίνηση	
	c8	G01 X150.	Γραμμική κίνηση	
	c9	G01 Y0	Γραμμική κίνηση	
	c10	G01 X0	Γραμμική κίνηση	
	c11	G01 Y-5.	Γραμμική κίνηση	
	c12	G00 X60.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το	

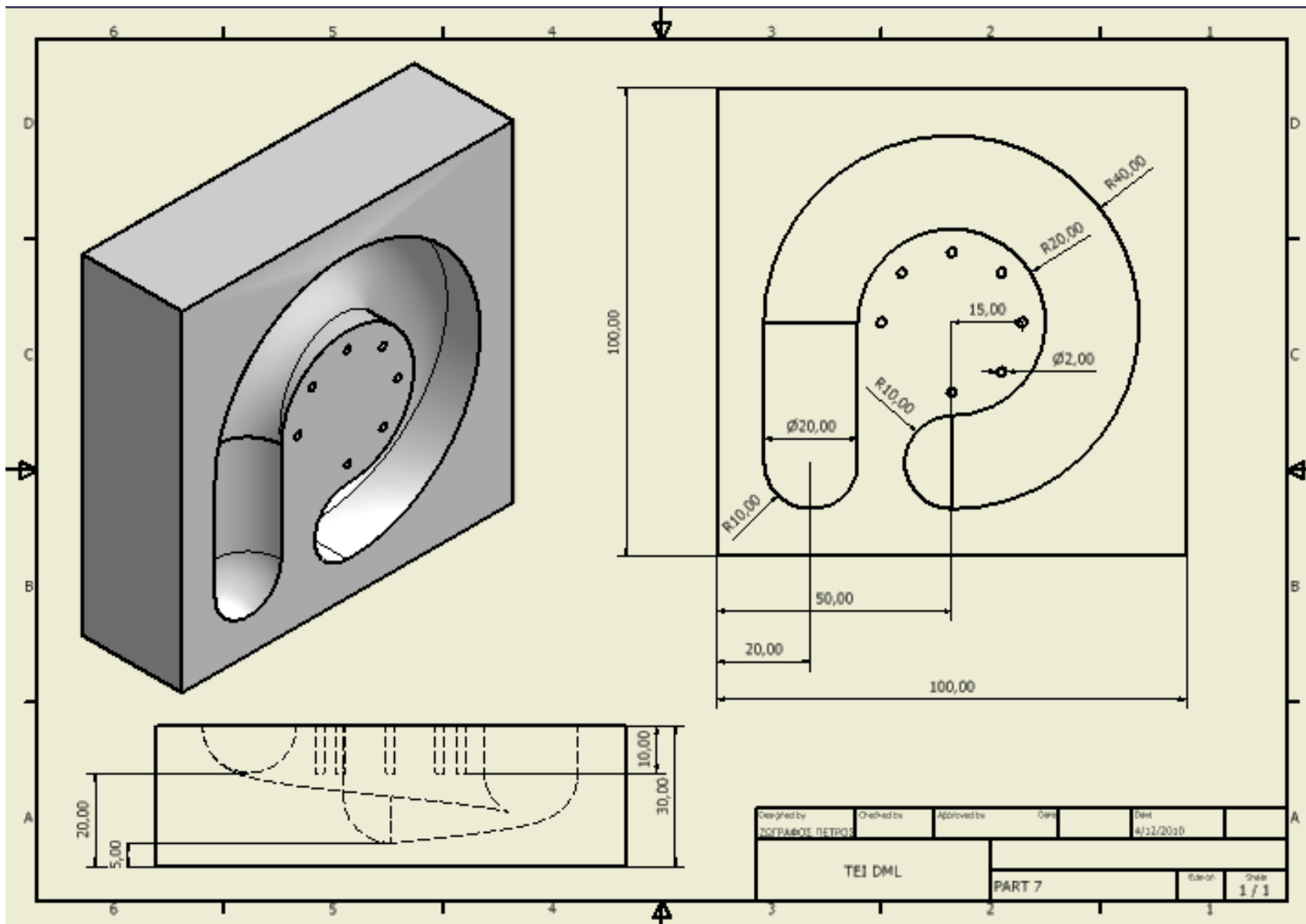
Δοκίμιο 4. 3D-Μηχανολογικό Σχέδιο.

			εργαλείο 3)	
	c13	G01 Y10.	Γραμμική κίνηση	c15-c20 Δημιουργία δυο ημικυκλίων
	c14	G02 X90. R15.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
	c15	G00 Z20.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
	c16	G00 Y105.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
	c17	G01 Z-5.	Γραμμική κίνηση	
	c18	G01 Y90.	Γραμμική κίνηση	
	c19	G02 X60. R15.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
	c20	G01 Z10.	Γραμμική κίνηση	
	c21	M06 T3	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	c25-c37 Διάνοιξη 4 οπών με το κοπτικό εργαλείο T3
	c22	S1300 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1300rpm	
	c23	G43 H03	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 2	
	c24	G00 X30. Y25. Z50.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται	
	c25	G00 Z20.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
	c26	G01 Z-5. F200.	Γραμμική κίνηση	
	c27	G00 Z15.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
	c28	G00 Y75.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
	c29	G01 Z-5.	Γραμμική κίνηση	
	c30	G00 Z15.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
c31	G00 X120.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το		




Δοκίμιο 4. Τελικό Προϊόν

		εργαλείο 3)
c32	G01 Z-5.	Γραμμική κίνηση
c33	G00 Z15.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)
c34	G00 Y25.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)
c35	G01 Z-5.	Γραμμική κίνηση
c36	G00 Z50.	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)
c37	M06 T1	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 1)
c38	M30	Τέλος προγράμματος

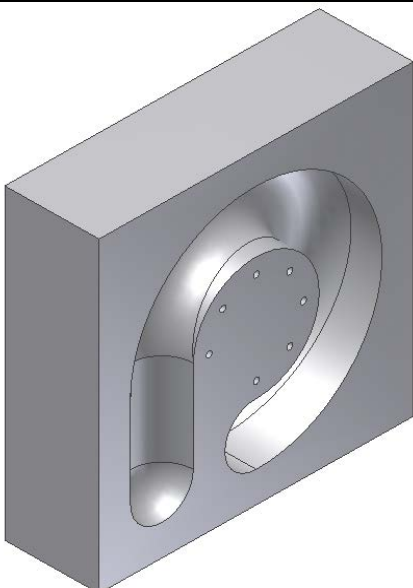
Πίνακας 8. Περιγραφή Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 4.



Εικόνα 46. Μηχανολογικό Σχέδιο Δοκίμιου 5.

Αρίθμηση Κοπτικού	Κοπτικό	Περιγραφή
Εργαλείο 1	-	Κενή θέση
Εργαλείο 2		Δίφτερο ballmil κονδύλι D 20mm HSS
Εργαλείο 3		Τρυπάνι D 2mm HSS
Εργαλείο 4		Κονδύλι: D 20mm HSS

Πίνακας 9. Εργαλεία Κατεργασίας Δοκιμίου 5.

Περιγραφή Προγραμματισμού Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 5				
	Cmd#	Εντολή	Πρόγραμμα O00039	Παρατηρήσεις
	C1	G54	Επιλογή σημείου αναφοράς	c7-c17 εσοχή 3/4 του κύκλου με το κοπτικό εργαλείο T2 c8 ταυτόχρονη κίνηση και των τριών αξόνων x,y,z
	C2	M06 T2	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 2)	
	C3	S3000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 3000rpm	
	c4	G43 H02	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 2	
	c5	G00 X20. Y50.	Γρήγορη κίνηση στο σημεία που αναφέρονται	
	c6	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c7	G01 Z0 F300.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 300mm/min	
	c8	G02 X50. Y20. Z-5. R-30.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
	c9	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση	

Δοκίμιο 5. 3D-Μηχανολογικό Σχέδιο.







Δοκίμιο 5. Τελικό Προϊόν

c10	G03 X20. Y50. Z0 R-30.	Κυκλική κίνηση με αντιωρολογιακή φορά
c11	G02 X50. Y20. Z-15. R-30.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c12	G01 Z-20.	Γραμμική κίνηση
c13	G03 X20. Y50. Z-10. R-30.	Κυκλική κίνηση με αντιωρολογιακή φορά
c14	G02 X50. Y20. Z-25. R-30.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c15	G00 Z20.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c16	G00 X20. Y50.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται
c17	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση
c18	G01 Y20.	Γραμμική κίνηση
c19	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c20	G00 X80. Y50.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται
c21	G01 Z-2. F500.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 500mm/min
c22	G03 X20. Y50. R30.	Κυκλική κίνηση με αντιωρολογιακή φορά
c23	G01 Y20.	Γραμμική κίνηση
c24	G00 Z50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c25	M06 T3	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 4)

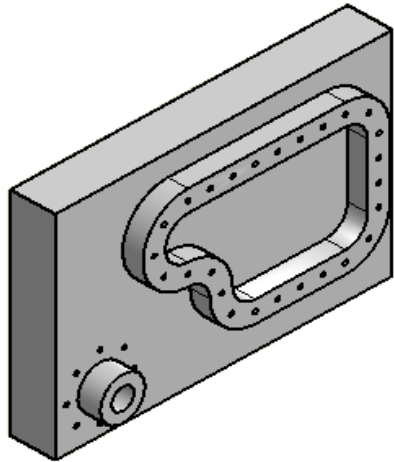
c26	S2000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 2000rpm		
c27	G43 H04	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 4	c27-c32 διάνοιξη 7 οπών με το κοπτικό εργαλείο T3 πάνω σε κυκλικό τόξο	
c28	G00 X50. Y50.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται		
c29	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται		
c30	G01 Z20. F500.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 500mm/min		
c31	G73 Z-10. R10. F500. Q1. L0	Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας		
c32	G71 I15. J-90. K45. L7	Τρύπες πάνω σε τόξο		
c33	G00 Z50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται		
c34	M06 T4	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)		
c35	G43 H03	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 3		
c36	G00 X5. Y-20.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται		
c37	G00 Z20.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται		
c38	G01 Z-1. F2000.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 2000mm/min		
c39	G01 Y100.	Γραμμική κίνηση		c39-c52 επιφανειακή κατεργασία του δοκιμίου με
c40	G01 X20.	Γραμμική κίνηση		
c41	G01 Y0	Γραμμική κίνηση		
c42	G01 X35.	Γραμμική κίνηση		

c43	G01 Y100.	Γραμμική κίνηση	μικρό βάθος κοπής για καλύτερη τελική επιφάνεια (Φινίρισμα)
c44	G01 X50.	Γραμμική κίνηση	
c45	G01 Y0	Γραμμική κίνηση	
c46	G01 X65.	Γραμμική κίνηση	
c47	G01 Y100.	Γραμμική κίνηση	
c48	G01 X80.	Γραμμική κίνηση	
c49	G01 Y0	Γραμμική κίνηση	
c50	G01 X95.	Γραμμική κίνηση	
c51	G01 Y100.	Γραμμική κίνηση	
c52	G00 Z50	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c53	M06 T1	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
c54	M30	Τέλος προγράμματος	

Πίνακας 10. Περιγραφή Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 5.

Αρίθμηση Κοπτικού	Κοπτικό	Περιγραφή
Εργαλείο 1	-	Κενή θέση
Εργαλείο 2		Τετράφτερο κονδύλι: D 8mm HSS
Εργαλείο 3		Τρυπάνι D 2mm HSS
Εργαλείο 5		Τρυπάνι: D 10mm HSS
Εργαλείο 6		Τετράφτερο κονδύλι: D 20mm HSS

Πίνακας 11. Εργαλεία Κατεργασίας Δοκιμίου 6.

Περιγραφή Προγραμματισμού Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 6				
 <p>Δοκίμιο 6. 3D-Μηχανολογικό Σχέδιο.</p>	Cmd#	Εντολή	Πρόγραμμα O00043	Παρατηρήσεις
	C1	G54	Επιλογή σημείου αναφοράς	c5-c7 Δημιουργία οπής 10mm με το κοπτικό εργαλείο T5
	C2	M06 T5	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 5)	
	C3	S1500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1500rpm	
	c4	G43 H05	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 3	
	c5	G00 X20. Y20.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c6	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c7	G01 Z-10. F250.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 250mm/min	



Δοκίμιο 6. Τελικό Προϊόν

c8	G01 Z20.	Γραμμική κίνηση	c9-c28 περιμετρική κατεργασία του δοκιμίου με το κοπτικό εργαλείο T2
c9	M06 T2	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 2)	
c10	S2000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 2000rpm	
c11	G43 H02	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 2	
c12	G00 X20. Y-30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c13	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c14	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση	
c15	G01 Y0	Γραμμική κίνηση	
c16	G02 Y40. R20.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c17	G02 Y0 R20.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c18	G01 X150.	Γραμμική κίνηση	
c19	G01 Y10.	Γραμμική κίνηση	
c20	G01 X80.	Γραμμική κίνηση	
c21	G02 X50. Y40. R30.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c22	G02 Y100. R30.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c23	G01 X120.	Γραμμική κίνηση	
c24	G02 X150. Y70. R30.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c25	G01 Y40.	Γραμμική κίνηση	
c26	G02 X120. Y10. R30.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c27	G01 Y5. Z10.	Γραμμική κίνηση	
c28	G00 Z50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	

	c29	M06 T5	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 5)	
	c30	S1500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1500rpm	
	c31	G43 H05	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 5	
	c32	G00 X100. Y50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	c32-c35 Δημιουργία οπής 10mm με το κοπτικό εργαλείο T5 στο σημείο (X100, Y50) για να εισέλθει το επόμενο κοπτικό εργαλείο (T6) που θα σχηματίσει κυκλική εσοχή
	c33	G00 Z20.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c34	G01 Z-10. F250.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 250mm/min	
	c35	G00 Z20.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c36	M06 T6	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 6)	
	c37	S2500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 2500rpm	
	c38	G43 H06	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 6	
	c39	G00 X100. Y50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c40	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c41	G01 Z0	Γραμμική κίνηση	
	c42	G12 G91 I2.5 K10. Q2.5 Z-5. L2 D00	Κυκλικό rocket με ωρολογιακή φορά	c42 Κυκλική εσοχή 30mm με το κοπτικό εργαλείο T6 με χρήση της εντολής G12 ώστε
	c43	G90	Απόλυτες θέσεις (πάντα στην αρχή του προγράμματος)	
	c44	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που	

		αναφέρεται	το κοπτικό εργαλείο T2 να εισέλθει στο επιθυμητό βάθος για το σχηματισμό της τελικής εσωτερικής επιφάνειας του δοκιμίου
c45	M06 T2	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 2)	
c46	S2000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 2000rpm	
c47	G43 H02	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 2	
c48	G00 X100. Y50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c49	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c50	G01 Z-10. F300.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 300mm/min	
c51	G01 Y40.	Γραμμική κίνηση	
c52	G01 X80.	Γραμμική κίνηση	
c53	G03 X50. Y70. R30.	Κυκλική κίνηση με αντί-ωρολογιακή φορά	
c54	G01 X120.	Γραμμική κίνηση	
c55	G01 Y40.	Γραμμική κίνηση	
c56	G01 X85.	Γραμμική κίνηση	
c57	G01 Y60.	Γραμμική κίνηση	
c58	G01 Z-1. F500.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 500mm/min	
c59	G01 Y85.	Γραμμική κίνηση	
c60	G01 X120.	Γραμμική κίνηση	
c61	G02 X135. Y70. R15.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c62	G01 Y40.	Γραμμική κίνηση	
c63	G02 X120. Y25. R15.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c64	G01 X80.	Γραμμική κίνηση	

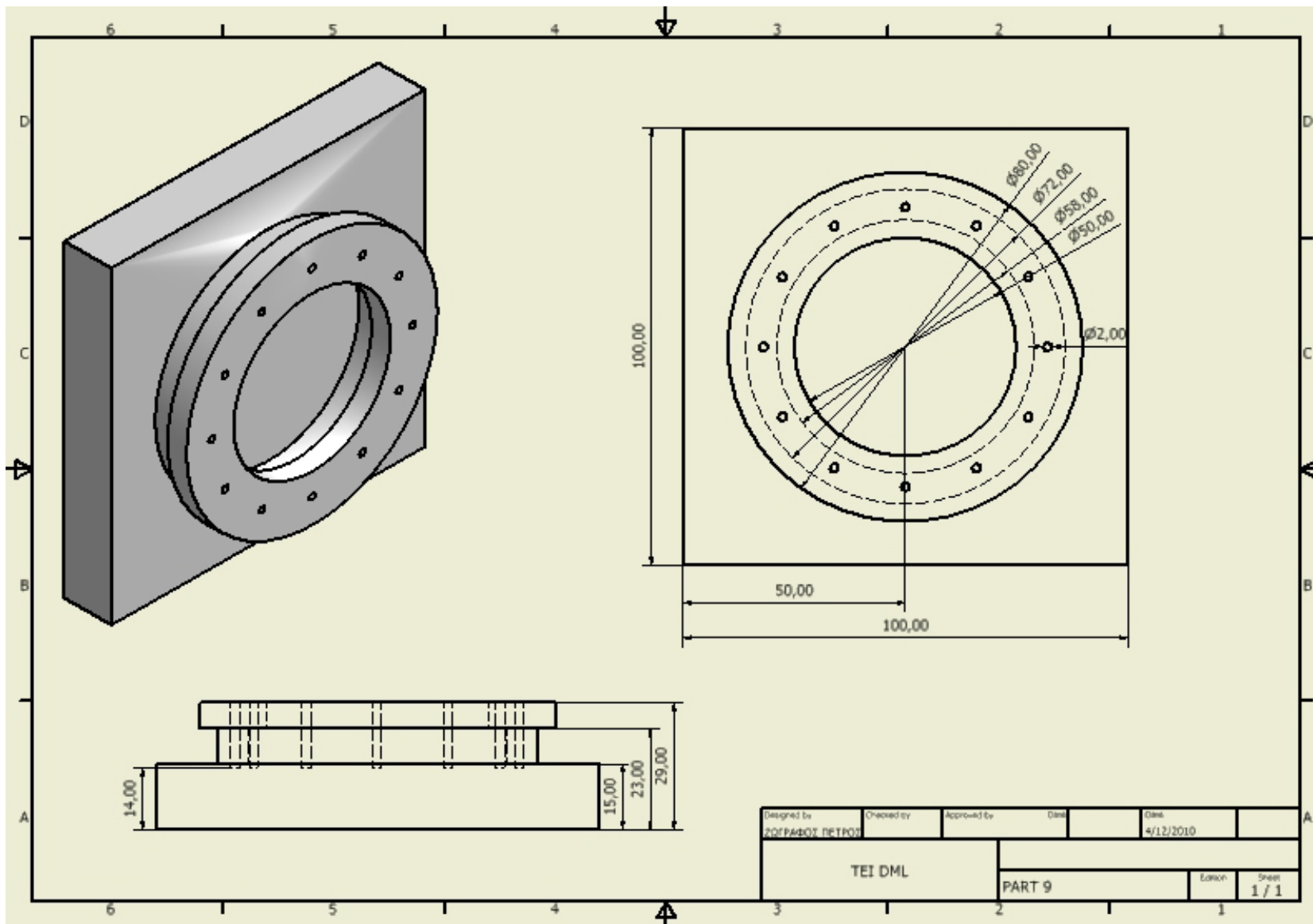
c65	G02 X65. Y40. R15.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c66	G03 X50. Y55. R15.	Κυκλική κίνηση με αντί-ωρολογιακή φορά
c67	G02 Y85. R15.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c68	G01 X90.	Γραμμική κίνηση
c69	G00 Z10.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c70	G00 X40. Y10.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c71	G01 Z-1.	Γραμμική κίνηση
c72	G01 X20.	Γραμμική κίνηση
c73	G02 Y30. R10.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c74	G02 Y10. R10.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c75	G00 Z10.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c76	G00 X0 Y115.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c77	G01 Z-10.	Γραμμική κίνηση
c78	G01 Y50.	Γραμμική κίνηση
c79	G01 X10.	Γραμμική κίνηση
c80	G01 Y100.	Γραμμική κίνηση
c81	G01 X20.	Γραμμική κίνηση
c82	G00 Y110.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c83	G00 X140.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c84	G01 X150. Y100.	Γραμμική κίνηση
c85	G00 Z50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που

			αναφέρεται	
c86	M06 T3		Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
c87	S2000 M03		Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 2000rpm	
c88	G43 H03		Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 3	
c89	G00 X20. Y20.		Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	c89-c118 Δημιουργία οπών περιμετρικά του σχήματος με το κοπτικό εργαλείο T3
c90	G00 Z30.		Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c91	G73 Z-15. R10. F300. Q1. L0		Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας	
c92	G70 I15. J0 L8		Bolt Hole Circle : Τρύπες πάνω σε κύκλο	
c93	G00 Z30.		Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c94	G00 X120. Y70.		Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c95	G00 Z30.		Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c96	G73 Z-10. R10. F300. Q1. L0		Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας	
c97	G71 I15. J0 K45. L3		Τρύπες πάνω σε τόξο	
c98	G00 X110. Y85.		Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c99	G73 Z-10. R10. F300. Q1. L0		Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας	
c100	G72 I-10. J0 L6		Τρύπες πάνω σε ευθύγραμμο τμήμα υπό γωνία	
c101	G00 X50. Y70.		Γρήγορη κίνηση στο σημείο που	

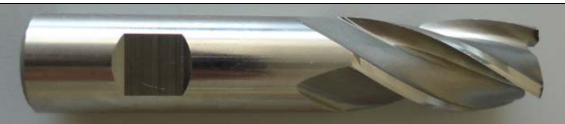


		αναφέρεται
c102	G73 Z-10. R10. F300. Q1. L0	Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας
c103	G71 I15. J90. K45. L4	Τρύπες πάνω σε τόξο
c104	G00 X50. Y40.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c105	G73 Z-10. R10. F300. Q1. L0	Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας
c106	G71 I15. J0. K45. L3	Τρύπες πάνω σε τόξο
c107	G00 X80. Y40.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c108	G73 Z-10. R10. F300. Q1. L0	Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας
c109	G71 I15. J225. K45. L2	Τρύπες πάνω σε τόξο
c110	G00 X90. Y25.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c111	G73 Z-10. R10. F300. Q1. L0	Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας
c112	G72 I10. J0. L3	Τρύπες πάνω σε ευθύγραμμο τμήμα υπό γωνία
c113	G00 X120. Y40.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c114	G73 Z-10. R10. F300. Q1. L0	Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας
c115	G71 I15. J270. K45. L3	Τρύπες πάνω σε τόξο
c116	G00 X135.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που

	Y50.	αναφέρεται
c117	G73 Z-10. R10. F300. Q1. L0	Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας
c118	G72 I10. J90. L2	Τρύπες πάνω σε ευθύγραμμο τμήμα υπό γωνία
c119	M06 T1	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 1)
c120	M30	Τέλος προγράμματος

Πίνακας 12. Περιγραφή Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 6.

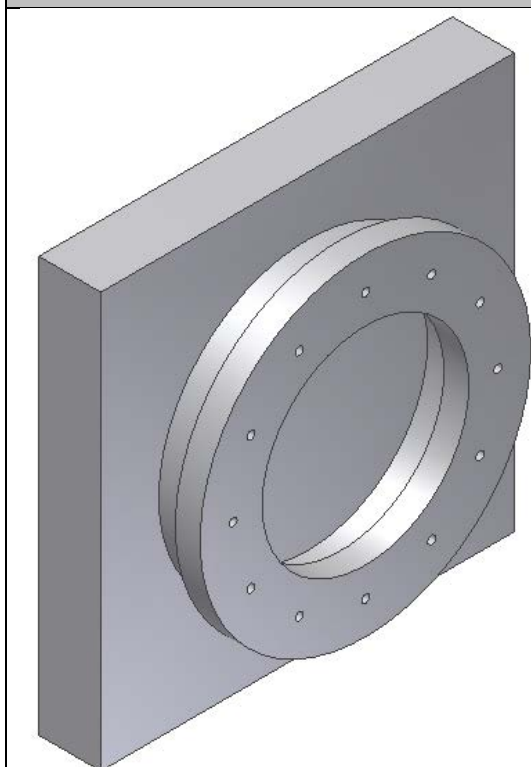


Εικόνα 48. Μηχανολογικό Σχέδιο Δοκιμίου 7.

Αρίθμηση Κοπτικού	Κοπτικό	Περιγραφή
Εργαλείο 1	-	Κενή θέση
Εργαλείο 2		Τετράφτερο κονδύλι: D 20mm HSS
Εργαλείο 3		Τρυπάνι: D 10mm HSS
Εργαλείο 4		Τετράφτερο κονδύλι: D 10mm HSS

Πίνακας 13. Εργαλεία Κατεργασίας Δοκιμίου 7.

Περιγραφή Προγραμματισμού Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 7



Δοκίμιο 7. 3D-Μηχανολογικό Σχέδιο.

Cmd#	Εντολή	Πρόγραμμα 000050	Παρατηρήσεις
c1	G54	Επιλογή σημείου αναφοράς	c8 Δημιουργία οπής 10mm με το κοπτικό εργαλείο T3 στο σημείο x50,y50 ώστε να εισέλθει το επόμενο κοπτικό εργαλείο (T4) που θα σχηματίσει μια κυκλική εσοχή
c2	M06 T3	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
c3	S1500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1500rpm	
c4	G43 H03	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 3	
c5	G00 X50. Y50.	Γρήγορη κίνηση στα σημεία που αναφέρονται	
c6	G00 Z50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c7	G01 Z20. F500.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 500mm/min	
c8	G73 Z-15. R10. F400. Q1. L1	Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας	
c9	G00 Z50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c10	M06 T4	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 4)	
c11	S1800 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1800rpm	
c12	G43 H04	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 4	
c13	G00 Z20.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c14	G01 Z0. F500.	Γραμμική κίνηση	
c15	G12 G91 I5. K5. Q2.5 Z-5. L3	Κυκλικό rocket με ωρολογιακή φορά	c15 Κυκλική εσοχή

		D00		20mm με το κοπτικό εργαλείο T4 με την εντολή G12, η εσοχή αυτή ώστε το κοπτικό εργαλείο(T2) να εισέλθει στο επιθυμητό βάθος για το σχηματισμό τελικής εσωτερικής επιφάνειας του δοκιμίου	
	c16	G90	Απόλυτες θέσεις (πάντα στην αρχή του προγράμματος)		
	c17	G00 Z50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται		
	c18	M06 T2	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 2)		
	c19	S1500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1500rpm		
	c20	G43 H02	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 2		
	c21	G00 Z20.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται		
	c22	G01 Z0. F500.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 500mm/min		
	c23	G12 G91 I15. K15. Q5. Z-5. L3 D00	Κυκλικό rocket με ωρολογιακή φορά		
	c24	G90	Απόλυτες θέσεις (πάντα στην αρχή του προγράμματος)		
	c25	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται		
	c26	G00 X0. Y-30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται		
	c27	G01 Z-7.5	Γραμμική κίνηση		c27-c32 Διάνοιξη 12 οπών με το κοπτικό εργαλείο T5 πάνω σε κύκλο
	c28	G01 Y100.	Γραμμική κίνηση		
	c29	G01 X100.	Γραμμική κίνηση		
	c30	G01 Y0.	Γραμμική κίνηση		
	c31	G01 X0.	Γραμμική κίνηση		
c32	G00 Y-20.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται			

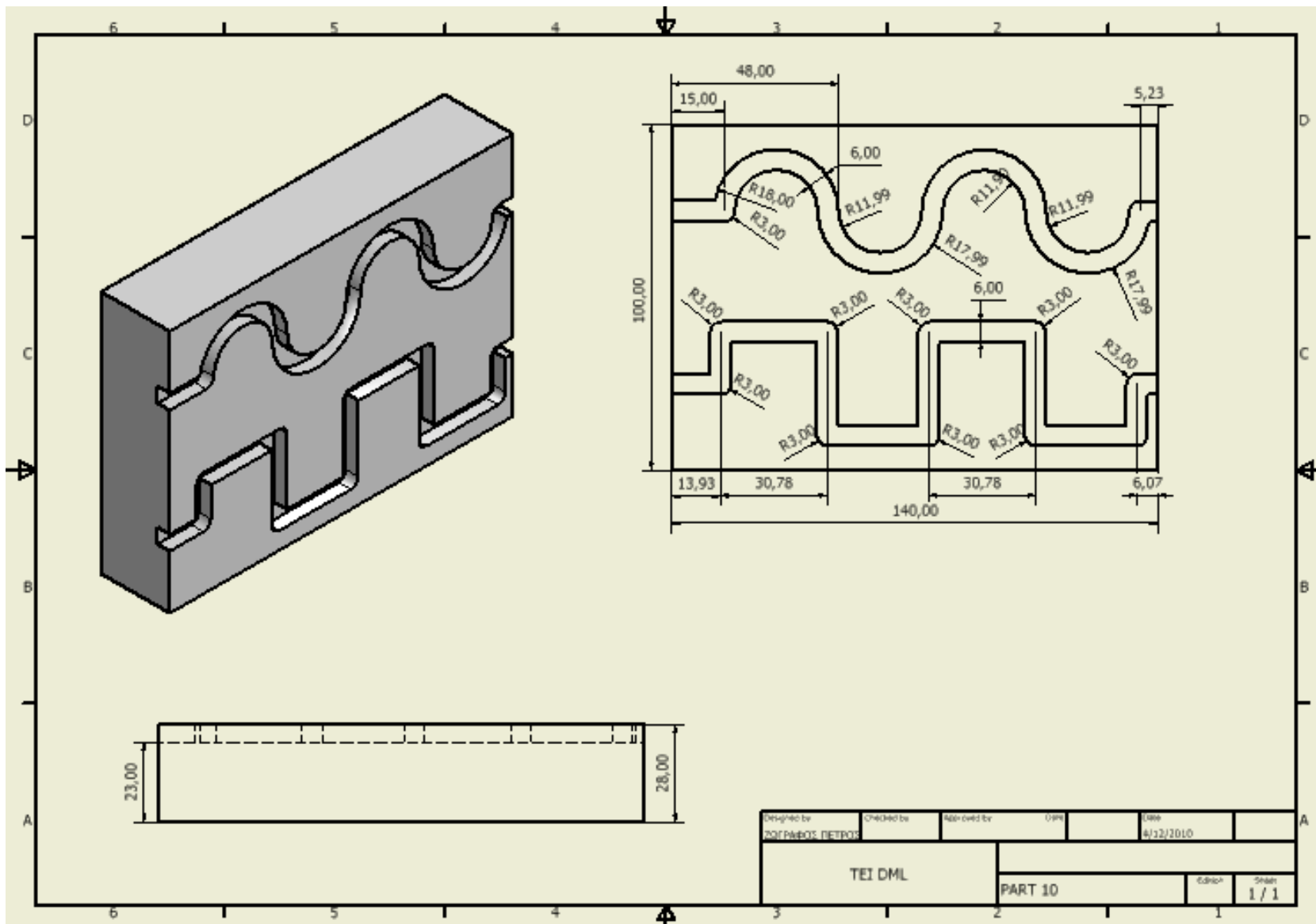
Δοκίμιο 7. Τελικό Προϊόν

c33	G01 Z-15.	Γραμμική κίνηση
c34	G01 Y100.	Γραμμική κίνηση
c35	G01 X100.	Γραμμική κίνηση
c36	G01 Y0.	Γραμμική κίνηση
c37	G01 X0.	Γραμμική κίνηση
c38	G00 Y50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c39	G00 Z-7.5	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c40	G02 X100. R50.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c41	G02 X0. R50.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c42	G01 Z-15.	Γραμμική κίνηση
c43	G02 X100. R50.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c44	G02 X0. R50.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c45	G00 Z-1.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c46	M06 T6	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 6)
c47	S2500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1500rpm
c48	G43 H06	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 6
c49	G00 X-5. Y50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c50	G00 Z20.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c51	G01 Z-15. F250.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 250mm/min
c52	G01 X6.	Γραμμική κίνηση
c53	G02 X94. R44.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c54	G02 X6. R44.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά

c55	G01 X-5.	Γραμμική κίνηση
c56	G01 Z20.	Γραμμική κίνηση
c57	G00 X40. Y50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c58	G01 Z-15.	Γραμμική κίνηση
c59	G01 X29.	Γραμμική κίνηση
c60	G02 X71. R21.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c61	G02 X29. R21.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά
c62	G01 X40.	Γραμμική κίνηση
c63	G00 Z50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c64	M06 T5	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 5)
c65	S2000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 1500rpm
c66	G43 H05	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 5
c67	G00 X50. Y50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c68	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c69	G01 Z20. F300.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 300mm/min
c70	G73 Z-15. R10. F500. Q1. L0	Κύκλος διάτρησης μεγάλης ταχύτητας
c71	G70 I32. J0 L12	Bolt Hole Circle : Τρύπες πάνω σε κύκλο
c72	G00 Z250.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται
c73	M06 T2	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 2)
c74	S2000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με

		ταχύτητα 1500rpm	
c75	G43 H02	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 2	
c76	G00 X-10. Y50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c77	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c78	G01 Z-1. F500.	Γραμμική κίνηση	
c79	G01 X15.	Γραμμική κίνηση	
c80	G02 X85. R35.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c81	G02 X15. R35.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c82	G01 X20.	Γραμμική κίνηση	
c83	G02 X80. R30.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c84	G02 X20. R30.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
c85	G00 Z50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
c86	M06 T1	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 1)	
c87	M30	Τέλος προγράμματος	

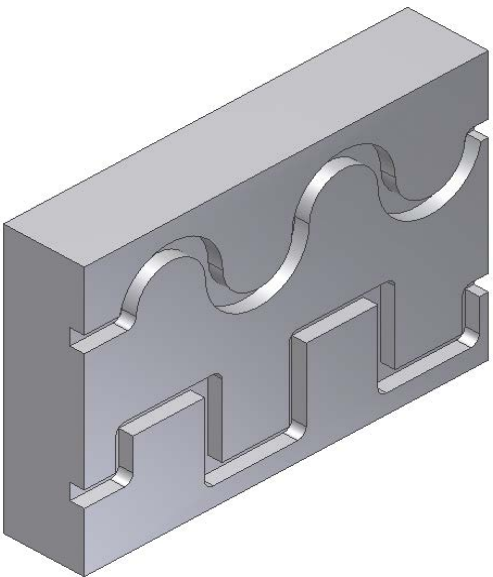
Πίνακας 14. Περιγραφή Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 7.




Εικόνα 49. Μηχανολογικό Σχέδιο Δοκιμίου 8.

Αρίθμηση Κοπτικού	Κοπτικό	Περιγραφή
Εργαλείο 1	-	Κενή θέση
Εργαλείο 3		Τετράφτερο κονδύλι: D 20mm HSS
Εργαλείο 4		Τετράφτερο κονδύλι: D 6mm HSS

Πίνακας 15. Εργαλεία Κατεργασίας Δοκιμίου 8.

Περιγραφή Προγραμματισμού Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 8				
	Cmd#	Εντολή	Πρόγραμμα 000051	Παρατηρήσεις
	C1	G54	Επιλογή σημείου αναφοράς	c9-c14 Κοπή ημιτονοειδούς μορφής με το κοπτικό εργαλείο T4
	C2	M06 T4	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 4)	
	C3	S2000 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 2000rpm	
	c4	G43 H04	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 4	
	c5	G00 X-10. Y75.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c6	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c7	G01 Z-5. F500.	Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 500mm/min	
	c8	G01 X15.	Γραμμική κίνηση	
	c9	G02 X45. R15.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	

Δοκίμιο 8. 3D-Μηχανολογικό Σχέδιο.

	c10	G03 X75. R15.	Κυκλική κίνηση με αντιωρολογιακή φορά	c17-c29 Κοπή μαιάνδρου.
	c11	G02 X105. R15.	Κυκλική κίνηση με ωρολογιακή φορά	
	c12	G03 X135. R15.	Κυκλική κίνηση με αντιωρολογιακή φορά	
	c13	G01 X160.	Γραμμική κίνηση	
	c14	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c15	G00 Y25.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c16	G01 Z-5.	Γραμμική κίνηση	
	c17	G01 X135.	Γραμμική κίνηση	
	c18	G01 Y10.	Γραμμική κίνηση	
	c19	G01 X105.	Γραμμική κίνηση	
	c20	G01 Y40.	Γραμμική κίνηση	
	c21	G01 X75.	Γραμμική κίνηση	
	c22	G01 Y10.	Γραμμική κίνηση	
	c23	G01 X45.	Γραμμική κίνηση	
	c24	G01 Y40.	Γραμμική κίνηση	
	c25	G01 X15.	Γραμμική κίνηση	
	c26	G01 Y25.	Γραμμική κίνηση	
	c27	G01 X-10.	Γραμμική κίνηση	
	c28	G00 Z50.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c29	M06 T3	Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 3)	
	c30	S2500 M03	Εκκίνηση ατράκτου δεξιόστροφα με ταχύτητα 2500rpm	
	c31	G43 H03	Αντιστάθμιση του μήκους του εργαλείου 3	
	c32	G00 X-20. Y5.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που αναφέρεται	
	c33	G00 Z30.	Γρήγορη κίνηση στο σημείο που	

Δοκίμιο 8. Τελικό Προϊόν

			αναφέρεται	
c34	G01 Z-1. F1000.		Γραμμική κίνηση με ταχύτητα (F) 1000mm/min	
c35	G01 X150.		Γραμμική κίνηση	c36-c49 Το κοπτικό εργαλείο περνάει από όλη την επιφάνεια του δοκιμίου με μικρό βάθος κοπής για καλύτερη επιφάνεια (Φινίρισμα)
c36	G01 Y20.		Γραμμική κίνηση	
c37	G01 X0		Γραμμική κίνηση	
c38	G01 Y35.		Γραμμική κίνηση	
c39	G01 X150.		Γραμμική κίνηση	
c40	G01 Y50.		Γραμμική κίνηση	
c41	G01 X0		Γραμμική κίνηση	
c42	G01 Y65.		Γραμμική κίνηση	
c43	G01 X150.		Γραμμική κίνηση	
c44	G01 Y80.		Γραμμική κίνηση	
c45	G01 X0		Γραμμική κίνηση	
c46	G01 Y95.		Γραμμική κίνηση	
c47	G01 X150.		Γραμμική κίνηση	
c48	M06 T1		Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (δέχεται το εργαλείο 4)	
c49	M30		Τέλος προγράμματος	

Πίνακας 16. Περιγραφή Ψηφιακής Καθοδήγησης Κατεργασίας Δοκιμίου 8.

5. Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

Σε κατεργασίες μεγάλης ακριβείας, πολύπλοκων γεωμετριών και μεγάλο αριθμό παράγωγης τεμαχίων η επιλογή χρήσης εργαλειομηχανής επιβάλλεται και σε καμία περίπτωση η χρήση συμβατικών μηχανών δε θα φτάσει την ποιότητα και την απόδοσή μιας CNC. Αντίθετα, σε κατεργασίες απλών γεωμετρικών σχημάτων π.χ. ξεχόνδρισμα επιφάνειας, η χρήση της εργαλειομηχανής είναι ασύμφορη. Η διαδικασία πρόσδεσης, ο μηδενισμός τεμαχίου και η δημιουργία κώδικα, θα απαιτήσουν πολύ περισσότερο χρόνο από μια συμβατική φρέζα.

Η ελαχιστοποίηση χρόνου κατεργασίας επιτυγχάνεται με εμπειρία και σωστό συνδυασμό πρώτης ύλης και κοπτικών εργαλείων. Το κόστος επισκευής σε περίπτωση εσφαλμένου χειρισμού είναι υψηλό και έτσι τα περιθώρια λάθους είναι σχεδόν ανύπαρκτα.

Για την ορθή λειτουργία της CNC απαιτούνται συγκεκριμένες ενέργειες. Η σωστή επιλογή στροφών και προώσεων θα δώσει τη βέλτιστη ποιότητα επιφάνειας και την ελάχιστη καταπόνηση στα κοπτικά εργαλεία. Η σωστή συγκράτηση του τεμαχίου στη μέγγενη ή στην τράπεζα εφαρμογών, θα μειώσει την πιθανότητα μετακίνησης του τεμαχίου κατά την κατεργασία, με αποτέλεσμα την ανακρίβεια της γεωμετρίας του τεμαχίου, η ακόμα και την δημιουργία ατυχήματος. Ο τακτικός έλεγχος ποιότητας των κοπτικών εργαλείων, ιδίως μετά από μια επίπονη κατεργασία, μας εγγυάται καλύτερα αποτελέσματα τελικής επιφάνειας. Επίσης η σωστή προμελέτη, οι παράμετροι κοπής και ο σωστός προγραμματισμός, είναι ενέργειες που θα οδηγήσουν στο επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα. Χρήση μετάλλων και βιομηχανικών πλαστικών για πρώτη ύλη, αυστηρή απαγόρευση στην κατεργασία πετρωμάτων και ξύλων καθώς υπάρχει κίνδυνος καταστροφής οδηγών (γλιστρών). Η ψύξη με κατάλληλα επιλεγμένο υγρό κοπής βάση ιδιοτήτων του υλικού προς κατεργασία είναι απαραίτητη. Δίδεται και η δυνατότητα ψύξης μέσω ατράκτου (Coolant through spindle) με καλύτερα αποτελέσματα σε περιπτώσεις διάτρησης.

Στις περισσότερες εργαλειομηχανές, όπως και στη VF1, παρέχεται η δυνατότητα επέκτασης σε τέταρτο και πέμπτο άξονα για σύνθετες γεωμετρίας και πολύπλοκες κατεργασίες όπως η κατεργασία φτερωτών αντλιών. Μια τέτοια επένδυση αποσκοπεί σε μεγάλη παραγωγή και μεγάλο αριθμό επαναλήψεων και καθίσταται ασύμφορη για παραγωγή μεμονωμένων τεμαχίων.

Στην HAAS VF1 υπάρχει ο περιορισμός χωρητικότητας 20 κοπτικών εργαλείων στον εργαλειοφορέα, με αποτέλεσμα, σε περίπτωση κατεργασίας, που θα απαιτηθούν, παραπάνω από 20 εργαλεία, να μην είναι εφικτή η υλοποίηση του τελικού τεμαχίου σε ένα συνεχή κύκλο. Επίσης, το εύρος στροφών της ατράκτου, ο αριθμός των αξόνων και το μήκος διαδρομών τους, είναι περιορισμένο για κατεργασίες τεμαχίων με μεγάλο όγκο. Η επιλογή της κάθε εργαλειομηχανής πρέπει να γίνεται με βάση τις απαιτήσεις κατεργασιών του προς παραγωγή τελικού προϊόντος.

6. Βιβλιογραφία

- [1] Γ. Βοσνιακός: Σημειώσεις Μαθήματος «Εργαλειομηχανές» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα, 2008.
- [2] Warren S.Seames: Computer Numerical Control – Concepts & Programming 4th Edition. Delmar Cengage Learning August 1, 2001.
- [3] Πολυτεχνείο Κρήτης, ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ - COMPUTER AIDED DESIGN AND MANUFACTURE (CAD/CAM), [online]. Διαθέσιμο από: www.cadlab.tuc.gr/courses/cad/chap1.pdf (1 Μαρτίου 2011).
- [4] William W.Luggen: CNC, A first Look Primer 1st edition. Delmar Cengage Learning. October 9, 1996.
- [5] HAAS Automation Inc. [operator's manual], www.haascnc.com, 2009.
- [6] <http://www.mastercam.com/>
Επίσημος Ιστότοπος εταιρίας MasterCAM. *Documentation for MasterCAM* (Ενεργός 10 Φεβρουαρίου,2011).
- [7] <http://usa.autodesk.com/autodesk-inventor/>
Επίσημος Ιστότοπος εταιρίας Autodesk. *Documentation for Autodesk Inventor Pro*. (Ενεργός 5 Ιανουαρίου 2011).
- [8] Β. Δημητρίου, Σημειώσεις Μαθήματος «Κατασκευαστικές Τεχνολογίες», ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Χανιά 2010.

7. Ορολογία - Συντομογραφίες

- **CAD – Computer Aided Design:** η χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών για το σχεδιασμό πραγματικών ή εικονικών αντικειμένων. Το σύστημα CAD συχνά περιλαμβάνει πολύ περισσότερα από απλά σχήματα. Όπως για παράδειγμα είναι η δημιουργία εγχειρίδιου σύνταξης για τεχνικά και μηχανολογικά σχέδια. Μπορεί να επεξεργάζεται συμβολικά στοιχεία όπως υλικά, διαδικασίες, διαστάσεις και ανοχές, ανάλογα με την εφαρμογή ειδικών εντολών.
- **CAM - Computer Aided Manufacturing:** η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με βάση τα εργαλεία λογισμικού που βοηθούν κυρίως τους μηχανικούς στον τομέα της μεταποίησης ή προτυποποίησης συστατικών, προϊόντων και εργαλείων.
- **CAE - Computer Aided Engineering:** η χρήση τεχνολογικών πληροφοριών για την υποστήριξη των μηχανικών σε εργασίες όπως η ανάλυση, η προσομοίωση, ο σχεδιασμός, η κατασκευή, η διάγνωση και η επισκευή αντικειμένων.
- **FEM - Finite Element Method:** Είναι μια αριθμητική τεχνική προσέγγιση για την εξεύρεση λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων (PDEs), καθώς και εξισώσεις ολοκληρωμάτων. Η προσεγγίσιμη λύση βασίζεται είτε στην ολοκληρωτική εξάλειψη των διαφορικών εξισώσεων (προβλήματα σταθερής κατάστασης), είτε μέσω της προσέγγισης συστημάτων των συνήθων διαφορικών εξισώσεων.
- **NC - Numerical Control & CNC - Computer Numerical Control:** Αναφέρεται στην αυτοματοποίηση των εργαλειομηχανών που λειτουργούν με προγραμματισμένες εντολές που κωδικοποιούνται σε ένα μέσο αποθήκευσης, ελέγχεται μέσω χειροτροχού ή μοχλού.
- **APT - Advanced Packaging Tool:** ελεύθερο περιβάλλον εργασίας που ο χρήστης συνεργάζεται με κέντρα βιβλιοθηκών για να χειριστεί την εγκατάσταση και την απεγκατάσταση του λογισμικού. Το APT απλοποιεί τη διαδικασία της διαχείρισης λογισμικού για Unix-όπως τα συστήματα πληροφορικής, αυτοματοποιώντας την ανάκτηση, τη διαμόρφωση και την εγκατάσταση των πακέτων λογισμικού, είτε από δυαδικά αρχεία ή με τη σύνταξη κώδικα. (Αυτόματος προγραμματισμός κοπτικών εργαλείων κατεργασίας).
- **DNC - Direct Numerical Control:** κοινός όρος παραγωγής για τη δικτύωση των εργαλειομηχανών CNC σε κάποια μονάδα ελέγχου. Η διαθέσιμη μνήμη είναι πολύ μικρή για να περιέχει το πρόγραμμα κατεργασίας για επιφάνειες π.χ. μηχανικού συγκροτήματος. Οπότε στην περίπτωση αυτή το πρόγραμμα είναι αποθηκευμένο σε έναν ξεχωριστό υπολογιστή και θα διαβιβαστεί στο μηχάνημα άμεσα. Αν ο υπολογιστής είναι συνδεδεμένος σε έναν αριθμό μηχανών μπορεί να διανείμει τα προγράμματα με διαφορετικές μηχανές, όπως απαιτείται.